

Aus dem Institut für Pflanzenernährung  
der Justus Liebig-Universität Gießen  
Direktor: Professor Dr. phil. Dr. nat. tech. h.c. Hans Linser

---

System- und Produktwachstum bei Ackerbohnen,  
Sommerweizen und Ölrettich unter besonderer  
Berücksichtigung der Schwefelversorgung

Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
beim Fachbereich Ernährungswissenschaften  
der Justus Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von  
Nagiba El-Ghamrawy  
aus Kairo

Gießen, im April 1973



Das Buch enthält die Vorträge, die  
des Herrn Prof. Dr. med. Dr. phil. Dr. phil. Dr. phil.  
Dietrich Prof. Dr. med. Dr. phil. Dr. phil. Dr. phil. Dr. phil.

System- und Produktentwicklung bei der Entwicklung,  
Sonderreizen und Clinical- und Clinical- und Clinical-  
Betrachtung der Sonderreizen.

Digitized by the Internet Archive  
in 2026

Die Entwicklung  
der Entwicklung der Entwicklung  
des Fachbereichs, Entwicklung der Entwicklung  
der Entwicklung der Entwicklung.

Die Entwicklung der Entwicklung  
des Fachbereichs, Entwicklung der Entwicklung  
der Entwicklung der Entwicklung.

Gießen, im Jahr 1973



Dekan: Prof. Dr. E. MENDEN

1. Berichterstatter: Prof. Dr.Dr.h.c. Hans LINSER

2. Berichterstatter: Prof. Dr. N. ATANASIU

Tag der mündlichen Prüfung: 19. 4. 1973

Dem Andenken

meines Vaters

## INHALTSVERZEICHNIS

|                                                                                             | Seite |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Einleitung                                                                                  | 1     |
| Material und Methodik                                                                       | 11    |
| I. Versuch mit Ackerbohnen                                                                  | 22    |
| 1. Verlauf der Ertragsbildung                                                               | 25    |
| 2. Rohprotein                                                                               | 27    |
| 3. Reinprotein                                                                              | 34    |
| 4. Hydrolysierbare Kohlenhydrate in der Ackerbohne                                          | 41    |
| 5. Gehalt der Ackerbohnenpflanze und ihrer Organe an lebendem System und Produkt            | 49    |
| 6. Menge von System und Produkt in der Ackerbohnenpflanze                                   | 55    |
| 7. Syntheseleistung des Systems für System und Produkt                                      | 64    |
| 8. Syntheseleistung des Systems für Kohlenhydrate                                           | 70    |
| II. Versuche mit Weizen und Ölrettich                                                       | 77    |
| a. Weizen                                                                                   |       |
| 1. Verlauf der Ertragsbildung                                                               | 84    |
| 2. Reinprotein                                                                              | 86    |
| 3. Gesamt-Schwefel                                                                          | 89    |
| 4. Sulfat-Schwefel                                                                          | 92    |
| 5. Organisch gebundener Schwefel                                                            | 95    |
| 6. Gehalt der Trockenmasse an System und Produkt                                            | 101   |
| 7. System- und Produktmenge je Pflanze, Syntheseleistung des Systems für System und Produkt | 106   |

## b. Ülrettich

|                                                                                                   |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 1. Verlauf der Ertragsbildung                                                                     | 112        |
| 2. Reinprotein                                                                                    | 112        |
| 3. Gesamt-Schwefel                                                                                | 118        |
| 4. Sulfat-Schwefel                                                                                | 122        |
| 5. Organisch gebundener Schwefel                                                                  | 125        |
| 6. Gehalt der Trockenmasse an System<br>und Produkt                                               | 132        |
| 7. System- und Produktmenge je Pflanze,<br>Syntheseleistung des Systems für<br>System und Produkt | 132<br>137 |
| Zusammenfassung                                                                                   | 147        |
| Literaturverzeichnis                                                                              | 151        |

## E I N L E I T U N G

### Einführende Literatur und Problemstellung

Das Ziel aller Landwirtschaft, insbesondere der praktischen Pflanzenernährung, ist die Erzeugung pflanzlichen Ertragsgutes. Die Basis ihrer Wirtschaftlichkeit und Leistungsfähigkeit ist die nach wirtschaftlichen Kriterien optimale Ertragsmenge und die nach Verbraucher Kriterien optimale Ertragsqualität der Kulturpflanzen. Der Pflanzenertrag ist hinsichtlich Menge und Qualität weitgehend das Ergebnis der von Menschen zielgerecht gesteuerten Entwicklung. Er wird von Pflanzen gewonnen, die nach Durchlaufen einer Zeitspanne der Entwicklung ein bestimmtes Stadium erreicht haben, zu dem das gewünschte Ertragsgut die von ihm gewünschten Eigenschaften besitzt (LINSER, 1969).

Die Entwicklung der Pflanze ist verbunden mit dem Wachstum ihrer Organe und geht zum großen Teil durch die Wachstumsvorgänge selbst vor sich. Der Begriff "Wachstum" könnte eindeutig gefaßt werden, wenn man den Vorgang des Wachstums als Vermehrung an körpereigener Substanz bezeichnete. Man dürfte dann allerdings vom Wachstum einer Pflanze nur dann sprechen, wenn der Aufbau an körpereigener Substanz den gleichzeitig erfolgenden Abbau überwiegt; oder aber man darf nicht die gesamte Pflanze als wachsend bezeichnen, sondern nur eben jene Teilstücke, bei denen eine positive Bilanz für Aufbau und Abbau vorliegt. Wachsen kann somit der Organismus als Ganzes, eines seiner Organe oder Gewebe, die Zelle oder eines ihrer Organoide (LINSER, 1969).

In einer Zelle liegen ebenso das Gesamtsystem ihrer enzymatischen Produktionsanlage vor, wie auch die von ihr zu verarbeitenden Ausgangsmaterialien, außerdem die nicht ausgeschiedenen Stoffwechselendprodukte. Die pflanzliche Zelle ist nicht so weitgehend befähigt wie die tierische, Endprodukte ihres Stoffwechsels auszuschcheiden bzw. an das

Außenmedium abzugeben. Es reichern sich deshalb in ihr u.U. bedeutende Mengen von Stoffwechselprodukten an, vor allem die als Reservestoffe bezeichneten Produkte, und diese machen dann einen nicht zu vernachlässigenden Anteil an der Gesamttrockensubstanz einer Zelle aus. Das pflanzliche Ertragsgut, das wir anstreben, enthält somit zwei verschiedenartige Komponenten: einerseits das lebende und stoffwechselnde (enzymatische) Produktionssystem und andererseits das von ihm eben durch seine Stoffwechseltätigkeit erzeugte Produkt (LINSER, 1972).

Bereits vor 20 Jahren hat LINSER die Grundgedanken der Theorie von "lebendem System" und "Produkt" entwickelt. Der Begriff "lebende Substanz" taucht zum ersten Mal 1952 auf (LINSER, 1952). Wenig später hat LINSER (1956) folgende Definition des "lebenden Systems" gegeben: "Mit der Bezeichnung "lebendes System" wollen wir allein jenes chemisch-physikalische System benennen, welches den Lebensvorgang ermöglicht und trägt, ohne alle jene Bestandteile des Protoplasmas, welche als Betriebsstoffe und Endprodukte dieses Systems in seiner unmittelbaren Nachbarschaft liegen. Das "lebende System" umfaßt daher als Begriff nur jenen Teil des Protoplasmas, welcher unmittelbar die lebenden Strukturen trägt. Hierbei darf man nicht vergessen, daß auch die neben dem lebenden System im Protoplasma vorliegenden Stoffe an dem strukturellen Aufbau des Protoplasmas einen Anteil haben und dadurch in mancher Hinsicht auch den strukturellen Bau des lebenden Systems mitbestimmen können" (LINSER, 1956).

Das Wachstum einer pflanzlichen Zelle kann sich in einer Zunahme ihrer Trockenmasse äußern; aber auch eine Zunahme des Zellvolumens, die fast immer auf einer Erhöhung des Wassergehaltes beruht, das sogenannte "Zellstreckungswachstum", wird als Wachstum bezeichnet.

Der Wachstumsprozeß, welcher die Bildung von Trockensubstanz zur Folge hat, ist für uns von besonderem Interesse.

Wir können ihn auch als "Substanz-Wachstum" bezeichnen. Sein Ergebnis, die Trockensubstanz, ist meistens das angestrebte Ertragsziel. Hierbei kann sowohl das Systemwachstum als auch das Produktwachstum im Vordergrund stehen.

Das Substanzwachstum ist ein Vorgang, der bestimmte Ausgangsmaterialien braucht. Diese Ausgangsstoffe sind die Nährstoffe, die eine Zelle bzw. eine Pflanze ihrer Umwelt entnimmt. Die aufgenommenen Nährstoffe treten an die lebentragenden Zellstrukturen heran, werden von ihnen in chemischen Prozessen umgewandelt und lösen sich in veränderter Form wieder von ihnen ab. Bei diesem Vorgang spielen die Multienzymkomplexe als Bestandteile des lebenden Systems eine Rolle von fundamentaler Bedeutung. Sie fungieren als Katalysatoren der erwähnten chemischen Umwandlungen der Ausgangsmaterialien, die zum Aufbau körpereigener Substanz verwendet werden können. So werden auch die zur Vermehrung des lebenden Systems notwendigen Materialien aus dem zur Verfügung stehenden Pool an Baustoffen entnommen.

Wir wissen, daß die stoffwechselnden Multienzymkomplexe aus globulären Eiweißpartikeln von ganz bestimmter räumlicher Anordnung bestehen. Da sie erst durch diese bestimmte Struktur zu den ihnen eigentümlichen Leistungen befähigt sind und die Struktur bereits in ihrer Primärstruktur vorgeplant ist, ist es für einen Organismus notwendig, daß bei der Neuschaffung von Multienzymkomplexen Eiweiß von genau derselben Primärstruktur wie die der schon vorhandenen hergestellt wird. Dazu bedient sich die Zelle des im Zellkern lokalisierten informationsübertragenden Systems der DNS, das durch die in ihm gespeicherten und von ihm ins Plasma Übertragenen Informationen die Eiweißsynthese aus Einzelmolekülen des Bausteinpools leitet. Die Informationsinhalte der DNS werden von Zellgeneration zu Zellgeneration unverändert weitergegeben. Dies ist aber nur möglich, wenn jeder Zellteilung eine

Verdoppelung des informationsübertragenden Systems vorausgeht. Nur dadurch kann jede der beiden Tochterzellen die für den Aufbau ihrer lebentragenden Plasmastrukturen notwendigen gleichen Informationsinhalte mitbekommen. Der Mechanismus der Verdoppelung der DNS besteht darin, daß die beiden komplementär gemusterten Nukleotidstränge der DNS fortschreitend von einem Punkt aus getrennt werden und an jedem Strang durch Anreihen von Bausteinen ein neuer mit komplementärem Muster aufgereiht wird. Die einzelnen dazu erforderlichen Nukleotide werden dem durch die Tätigkeit der Multienzymkomplexe geschaffenen Pool der Baumaterialien entnommen und auf enzymatischem Wege miteinander verknüpft (KAPLAN, 1968).

Diesen Vorgang der Vermehrung des metabolischen und des informationsübertragenden Teiles des lebenden Systems bezeichnet man als "Systemwachstum" (LINSER, 1967).

Eine zweite Möglichkeit der Substanzzunahme innerhalb der Zelle besteht in der Aufnahme von Nährstoffen aus dem Außenmedium in das Innere der Zelle. Der Pool der von außen aufgenommenen Nährstoffe ist auch die Grundlage für die Synthese oder den Abbau bestimmter Stoffe durch das lebende System, die diesem nicht zuzurechnen sind. Dies sind vor allem Mono- und Polysaccharide, Zellulose, Rohfaser, inkrustierende Substanzen, ferner Mineralstoffe, soweit sie nicht am Aufbau des lebenden Systems beteiligt sind. Die Erzeugung und Vermehrung dieser nicht lebentragenden Zellkomponenten wird als "Produktwachstum" bezeichnet (LINSER, 1969). Es führt zu einer Speicherung von organischem Pflanzenmaterial, das bei seiner Oxidation beachtliche Mengen an Energie abgeben kann. Das Gesamtwachstum der Pflanze stellt somit die Summe ihres "System- und Produktwachstums" dar.

Das lebende System innerhalb der Zelle besteht aus zwei Komponenten, nämlich den statisch strukturierten, informationstragenden und informationsübertragenden Strukturteilen und den dynamisch strukturierten, die sichtbaren

Lebensvorgänge durchführenden enzymatischen Apparaten, deren Einzelkomponenten in Kreisprozessen zwischen zwei möglichen Strukturzuständen schwingen. Da alle Enzyme aus Proteinen bestehen, kann bei Geweben, welche kein Reserveprotein bilden bzw. speichern, der Reinproteingehalt einer Zelle als Maß für deren Gehalt an produzierendem lebendem System dienen. Dabei darf angenommen werden, daß zur Funktion des lebenden Systems neben dem Reinprotein eine etwa gleich große Menge an Lipoiden, Nukleinsäuren und Nukleotiden, sowie eine etwa gleich große Menge an Gerüstmaterialien notwendig sind. Man kann weiterhin annehmen, daß embryonale Zellen fast zur Gänze aus lebendem System bestehen. Beträgt nun ihr Reineiweißgehalt z. B. 33 % der Trockensubstanz, so heißt das, daß der Gehalt dieser Zellen an lebendem System etwa den dreifachen Wert ihres Reinproteingehaltes ausmacht (LINSER, 1972).

Bei den experimentellen Untersuchungen über das Wachstum von System und Produkt werden die folgenden vereinfachenden Voraussetzungen gemacht:

1. Hauptbestandteil einer funktionsfähigen Zelle ist das "lebende System", das sich selbst vermehrt und außerdem in seinem Stoffwechsel Leistungen durch Transport oder Umwandlung von Stoffen erbringt, die nicht Bestandteile des Systems selbst sind. Diese letztgenannten Stoffe werden als "Produkt" bezeichnet.
2. Die wichtigsten Komponenten des lebenden Systems sind Nukleinsäuren, Eiweiß und Lipide. Zu seiner Funktionsfähigkeit sind weiterhin notwendig bestimmte Mengen an Stützsubstanzen sowie Hilfsstoffe, wie beispielsweise Vitamine und Hormone.
3. Das lebende System hat einen charakteristischen Wassergehalt. Dieses Systemwasser ist stärker gebunden als das Wasser im Produkt.
4. Die Vermehrung des Systems erfolgt durch die Tätigkeit des Systems selbst, durch Selbstreduplikation, Redupli-

kation und zugehörige Syntheseleistungen.

5. Die Erzeugung von Produkt ist ein von dem Systemwachstum unterscheidbarer Stoffwechselprozeß. Er spielt sich zwar am System ab, das dabei eine katalytische Rolle übernimmt. Das System produziert das Produkt. Damit besitzt es zwei verschiedenartige Produktionskapazitäten: eine Produktionskapazität für System und eine Produktionskapazität für Produkt.
6. Nährstoffaufnahme wird als eine Produktionsleistung betrachtet; die aufgenommenen Nährstoffe zählen, sofern sie nicht dem System einverleibt sind, als Produkt.
7. Das System ist entweder lebendig oder aber nicht mehr funktionsfähig. Analytisch werden beide Formen zusammen erfaßt. Das "tote" System hat seine Synthesefähigkeit für System oder Produkt verloren. Seine Abbauprodukte zählen dem Produkt zu.

Da das Reineiweiß stets mit einem bestimmten Anteil am Aufbau des lebenden Systems beteiligt ist, kann seine quantitative Bestimmung Auskunft geben über den Anteil des lebenden Systems an der Gesamttrockensubstanz bzw. über die Menge sowohl von lebendem System als auch von Produkt pro Pflanze im Verlauf der Vegetationsperiode. LINSER et al. (1968) stellten fest, daß der Reinproteingehalt und damit der Gehalt einer Pflanze am lebenden System von einem hohen Anfangsniveau auf ein niedriges Endniveau absinkt. Sie deuten diese Tatsache als Ausdruck einer Umsteuerung, die mehr oder weniger plötzlich erfolgen kann, von einem vorwiegend systemproduzierenden zu einem vorwiegend produktproduzierenden Stoffwechsel.

Aus den im Laufe einer Vegetationsperiode ermittelten Reinproteingehalten einer Pflanze und damit den Werten für System und Produkt können als Ausdruck der Netto-Bildungsgeschwindigkeiten für System und für Produkt die

Größen für die Syntheseleistung des Systems für System (in % seines Gewichtes pro Tag) und jene für die Syntheseleistung des Systems für Produkt (ebenfalls in % des Systemgewichtes pro Tag) errechnet werden.

LINSER, LACH und TITZE (1968) zeigten, daß in den vegetativen Teilen der Weizenpflanze die Syntheseleistung des Systems für System in den ersten Tagen der Keimlingsentwicklung maximal hohe Werte erreicht und dann schnell absinkt, bis um den 80. Tag nach der Saat praktisch keine Nettosyntheseleistung des Systems für System mehr vorliegt. Im Vergleich hierzu zeigt die Nettosyntheseleistung des Systems für Produkt ein völlig anderes Verhalten. Sie steigt von anfänglich relativ niedrigen bis zu maximalen Werten zwischen dem 50. und 80. Tag nach der Saat an, sinkt dann rasch ab und kann von etwa dem 100. Tag an negative Werte erreichen. LACH (1970) zeigte, daß das Systemwachstum bei Sommerweizen durch eine erhöhte N-Gabe verlängert und vermehrt wird, und daß der Zeitpunkt der Umsteuerung des Stoffwechsels, im Sinne eines vorwiegenden Produktwachstums, verzögert werden kann. Dadurch wird die Produktionskapazität des Systems für die Synthese von Produkten erhöht, und es ergibt sich so ein höherer Endertrag. LACH (1971) konnte nachweisen, daß durch niedrige Vegetationstemperaturen ebenfalls eine zeitliche Verlängerung des Systemwachstums erfolgt und der Zeitpunkt der Umsteuerung des Stoffwechsels vom vorherrschenden Systemwachstum in reines Produktwachstum hinausgezögert wird. Die durch niedrige Temperaturen verminderte Stoffproduktion schafft über längere Zeit systemwachstumsbegünstigende Stoffwechselbedingungen, damit eine höhere Produktionskapazität und einen hohen Endertrag.

Von besonderem Interesse sind die Beziehungen zwischen der Aufnahme mineralischer Nährstoffe und System- bzw. Produktwachstum: Setzt man die Aufnahmeleistung der Pflanze pro Tag, z. B. für Phosphorsäure, mit der jeweils vorhandenen Menge an System in Relation, so kann man die Phosphat-

aufnahme als eine biologische Leistung eben dieses Systems auffassen. Die Befunde von LINSER und TITZE-BETTNER (1971) zeigen, daß sich die Aufnahme von Phosphationen im Verlauf der Vegetationsperiode der Syntheseleistung des Systems für System proportional verhält. Es kann deshalb vermutet werden, daß die Aufnahme der Phosphationen durch die Pflanze im Verlauf der Vorgänge der System-Synthese erfolgt und mit ihr in Zusammenhang steht und nicht mit der Synthese von Stoffwechselprodukten, die eingespeichert werden. Steigende N-Gaben, die zu einer verstärkten Systemsynthese führen, erhöhen im Durchschnitt der gesamten Vegetationsperiode die Netto-Aufnahmeleistung des Systems für Phosphat.

LINSER und ZEID (1972) untersuchten Systemwachstum sowie Syntheseleistung des Systems bei den einzelnen Organen der Karottenpflanze (Daucus carota). Durch eine solche Betrachtung der einzelnen Organe ist es möglich, den tatsächlichen Produktionsverhältnissen innerhalb der Pflanze bedeutend näher zu kommen als bei Betrachtung der Gesamtpflanze allein. Die einzelnen Blätter der Blattfolge zeigten bei der Karottenpflanze bei ihrem Erscheinen umso höhere Systemgehalte (in % der T.S.), je jünger die Pflanze zum Zeitpunkt ihres Erscheinens war. Der vom Alter abhängige Relativgehalt der Trockensubstanz an System in der Gesamtpflanze scheint sich somit auf den Systemgehalt der sich jeweils entwickelnden Blätter auszuwirken. Der Jugendzustand neu entstehender Blätter erweist sich damit als vom Alterungsgrad der Gesamtpflanze, an der das Blatt neugebildet wird, abhängig.

Von Wichtigkeit ist, nicht nur die Menge des lebenden Systems als Grundlage der Produktionskapazität der Pflanze im Verlauf der Vegetationsperiode zu verfolgen, sondern darüber hinaus auch die qualitativen und quantitativen Veränderungen der Leistungsfähigkeit des Systems zu ermitteln. Daß solche Veränderungen in der Zusammensetzung des produzierenden Systems und damit Änderungen in der Art der erzeugten Produkte eintreten können bzw. eintreten müssen,

liegt in der zeitlich-hierarchischen Realisierung der genetischen Information in lebenden Zellen und Geweben begründet (LINSER, 1972). So zeigte HENZE (1971) mit Untersuchungen an Brassica oleracea, var. acephala, die Veränderung der enzymatischen Leistung des Systems im Verlauf der Vegetationsperiode. Es stieg die Aktivität der Peroxidase auf das fast 40-fache an, während jene für Katalase auf kaum mehr als ein Zehntel des ursprünglichen Wertes abfiel.

Die grundlegenden Untersuchungen von LINSER et al. (1968, 1969, 1970, 1971) über System- und Produktwachstum wurden vorwiegend an Getreidepflanzen ausgeführt. Hierbei zeigte sich, daß die Stickstoffversorgung Wachstum und Syntheseleistung des lebenden Systems maßgeblich zu beeinflussen vermag. Es erschien deshalb wichtig zu sein, Untersuchungen über System- und Produktwachstum auch bei einer Leguminose vorzunehmen, einer Pflanze also, bei der während der gesamten Vegetationsperiode mit einer ständig optimalen Stickstoffversorgung gerechnet werden kann.

Es wurde hierzu die Ackerbohne (Vicia faba) ausgewählt, die in weiten Gebieten des vorderen Orients von großer Bedeutung für die menschliche Ernährung ist. Ihr hoher Proteingehalt ist eine der wichtigsten Eiweißquellen weiterer Bevölkerungsschichten, ihre Kohlenhydrate sind ein bedeutender Lieferant für kalorische Werte.

Ein Punkt, der bei den bisherigen Untersuchungen über System- und Produktwachstum keine genügende Berücksichtigung erfahren konnte, ist eine analytische Aufgliederung des "Produkts". Definitionsgemäß gehören hierzu alle jene Stoffe in der Pflanze, die nicht dem lebenden System zuzurechnen sind. Nach LINSER (1969) sind dies vor allem Mono- und Polysaccharide, Zellulose, Rohfaser, inkrustierende Substanzen, ferner Mineralstoffe, soweit sie nicht am Aufbau des lebenden Systems beteiligt sind.

Vom ernährungsphysiologischen Standpunkt sind die Mono- und Polysaccharide besonders hervorzuheben. Die Menge dieser unter dem Begriff "lösliche Kohlenhydrate" zusammengefaßten Stoffgruppe und ihren Anteil am Produkt bei Ackerbohne im Verlauf der Vegetationsperiode zu ermitteln, erschien gleichfalls von Bedeutung zu sein.

Von LACH (1969) wurde der Einfluß des Nährstoffs Stickstoff auf Wachstum und Syntheseleistung des lebenden Systems untersucht, insbesondere auch auf den Termin der Umsteuerung des pflanzlichen Stoffwechsels von System- auf Produktwachstum. In neuester Zeit hat ZAHIRI (1972) analoge Untersuchungen für die Nährstoffe Phosphor und Kalium durchgeführt. Hierbei zeigte sich, daß die genannten Nährstoffe in ganz spezifischer Weise auf das Wachstum von System und Produkt einwirken.

In Fortsetzung dieser Arbeiten über die Bedeutung der einzelnen mineralischen Nährstoffe für System- und Produktwachstum war es von besonderem Interesse, entsprechende Untersuchungen im Hinblick auf die Bedeutung des Schwefels vorzunehmen. Er ist als Baustein des Reinproteins und damit des lebenden Systems gleich wichtig wie der Stickstoff, wenn er auch in wesentlich geringerer Menge von der Pflanze benötigt wird als dieser. Es erschien zweckmäßig zu sein, diese Untersuchungen bei einer Pflanze mit geringem und einer mit hohem Schwefelbedarf anzustellen. Dementsprechend wurden Sommerweizen und Ölrettich ausgewählt.

In der vorliegenden Arbeit wurde somit versucht, aus dem umfassenden Komplex "System und Produkt" zwei<sup>\*)</sup> Teilfragen experimentell zu bearbeiten und einer Klärung näher zu bringen. Diese stehen zwar nicht in unmittelbarem Zusammenhang miteinander, doch erweitert ihre Beantwortung unser bisher noch unzureichendes Wissen auf wichtigen Teilgebieten der Physiologie der Ertragsbildung.

---

\*) I. System und Produkt bei Ackerbohnen.  
II. Schwefelversuche mit Weizen und Ölrettich.

## MATERIAL UND METHODIK

### I. Versuch mit Ackerbohnen

**Fragestellung:** System- und Produktwachstum bei einer Leguminose, und zwar Ackerbohne (*Vicia faba*).

**Versuchsboden:** Schwach saurer, an N, P und K armer lehmiger Sandboden. 6,75 kg Boden je kleines Mitscherlichgefäß. Insgesamt 55 Versuchsgefäße.

**Düngung:** Beim Ansetzen der Gefäße erhielt jedes Gefäß

|                                                 |
|-------------------------------------------------|
| 10 g $\text{CaCO}_3$                            |
| 2 g $\text{MgCO}_3$                             |
| 13 g NPK-Dünger 6/12/18 entsprechend 0,78 g N,  |
| 1,56 g $\text{P}_2\text{O}_5$ und               |
| 2,34 g $\text{K}_2\text{O}$ . Außerdem          |
| 5 mg Bor als $\text{H}_3\text{BO}_3$ in Lösung. |

**Aussaat:** 2. 4. 1969. 30 Samen je Gefäß. Sorte "Kleine Schladener". Impfung des Saatgutes mit Knöllchenbakterien.

**Ernteplan:** Mit den Ernten wurde unmittelbar nach dem Aufgang begonnen, zuerst durch schrittweises Vereinzeln der Gefäße bis zuletzt auf 10 Pflanzen/Gefäß. Danach wurden bis zur Reife jeweils 2 Gefäße geerntet. Bis zur 10. Ernte wurden ganze Pflanzen analysiert, danach wurde in einzelne Organe differenziert (s. Tab. 1). Von der 11. Ernte an wurden auch die Wurzeln geerntet (s. Ernteplan).

Aus den Wachstumsbeobachtungen: Auflaufen der Keim-  
pflanzen am 6. 4. Normale Entwicklung,  
keine Anzeichen für Nährstoffmangel.  
Blühbeginn am 9. 6. Beginnende Hülse-  
ausbildung am 19. 6. Letzte Ernte am  
4. 8.

Ernt e p l a n

| Ernte                           | Datum   | Tage n. Saat | Anzahl der Pflanzen<br>pro Ernte |
|---------------------------------|---------|--------------|----------------------------------|
| 1                               | 18.4.69 | 16           | 54                               |
| 2                               | 21.4.69 | 19           | 54                               |
| 3                               | 24.4.69 | 22           | 40                               |
| 4                               | 28.4.69 | 26           | 40                               |
| 5                               | 1.5.69  | 29           | 40                               |
| 6                               | 5.5.69  | 33           | 40                               |
| 7                               | 8.5.69  | 36           | 40                               |
| 8                               | 12.5.69 | 40           | 35                               |
| 9                               | 15.5.69 | 43           | 27                               |
| 10                              | 19.5.69 | 47           | 27                               |
| (Vereinz. auf 10 Pfl./<br>Gef.) |         |              |                                  |
| 11                              | 22.5.69 | 50           | 2 Gef. zu je 10                  |
| 12                              | 26.5.69 | 54           | 2 Gef. zu je 10                  |
| 13                              | 29.5.69 | 57           | 2 Gef. zu je 10                  |
| 14                              | 2.6.69  | 61           | 2 Gef. zu je 10                  |
| 15                              | 5.6.69  | 64           | 2 Gef. zu je 10                  |
| 16                              | 9.6.69  | 68           | 2 Gef. zu je 10                  |
| 17                              | 12.6.69 | 71           | 2 Gef. zu je 10                  |
| 18                              | 16.6.69 | 75           | 2 Gef. zu je 10                  |
| 19                              | 19.6.69 | 78           | 2 Gef. zu je 10                  |
| 20                              | 23.6.69 | 82           | 2 Gef. zu je 10                  |
| 21                              | 26.6.69 | 85           | 2 Gef. zu je 10                  |
| 22                              | 30.6.69 | 89           | 2 Gef. zu je 10                  |
| 23                              | 3.7.69  | 92           | 2 Gef. zu je 10                  |
| 24                              | 7.7.69  | 96           | 2 Gef. zu je 10                  |
| 25                              | 10.7.69 | 99           | 2 Gef. zu je 10                  |
| 26                              | 14.7.69 | 103          | 2 Gef. zu je 10                  |
| 27                              | 17.7.69 | 106          | 2 Gef. zu je 10                  |
| 28                              | 21.7.69 | 110          | 2 Gef. zu je 10                  |
| 29                              | 24.7.69 | 113          | 2 Gef. zu je 10                  |
| 30                              | 28.7.69 | 117          | 2 Gef. zu je 10                  |
| 31                              | 31.7.69 | 120          | 2 Gef. zu je 10                  |
| 32                              | 4.8.69  | 124          | 2 Gef. zu je 10                  |

## II. Versuch mit Sommerweizen und Ölrettich

Fragestellung: Die Bedeutung des Schwefels für System und Produktwachstum bei einer wenig und einer stark S-bedürftigen Pflanze und zwar Sommerweizen (Triticum vulgare) und Ölrettich (Rhaphanus oleiferus).

Versuchsboden: Neutraler Sandboden, der durch zweimaligen Anbau von Raps und einmaligem Anbau von Sonnenblumen an Schwefel verarmt worden war. Kleine Mitscherlichgefäße mit 5 kg Schwefelmangelboden + 3 kg grobem gewaschenem Quarzsand. 40 Versuchsgefäße je Pflanze.

Aussaat: Sommerweizen, Sorte "Heines Koga II", Ölrettich Sorte "Rauola", jeweils 40 Samen pro Gefäß am 2. 4. 1969.

Düngung: Jeweils die Hälfte der Weizen- und Ölrettichgefäße erhielt eine Schwefeldüngung, die andere Hälfte erhielt keine Schwefelgabe. Die Grunddüngung für jedes Gefäß betrug: 0,5 g N als  $\text{NH}_4\text{NO}_3 = 1,43 \text{ g}$   
1,5 g  $\text{P}_2\text{O}_5$  als  $\text{K}_2\text{HPO}_4 = 3,68 \text{ g}$  (mit 2,0 g  $\text{K}_2\text{O}$ )

0,5 g  $\text{K}_2\text{O}$  als  $\text{KCl} = 0,79 \text{ g}$

1,0 g  $\text{MgCO}_3$

3 mg B als  $\text{H}_3\text{BO}_3$

10 mg Cu als  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

20 mg Mn als  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

20 mg Zn als  $\text{ZnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

N, P, K und Mg wurden beim Ansetzen der Gefäße in fester Form verabreicht, die Mikronährstoffe in Lösung.

S-Düngung bei Weizen 500 mg S als  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (3,22 g);

S-Düngung bei Ölrettich 800 mg als  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (4,30 g).

Am 29. 4. erfolgte eine N-Nachdüngung in Höhe von 0,4 g N als Ammoniumnitrat.

**Ernteplan:**

Im Verlauf der Vegetationsperiode wurden die oberirdischen Pflanzenorgane in Abständen von 7 bis 11 Tagen geerntet. Auch bei Weizen und Ölrettich erfolgten die ersten Ernten durch Vereinzeln der Gefäße, später wurden jeweils 2 Gefäße geerntet. Siehe Ernteplan.

**Aus den Wachstumsbeobachtungen:**

- a) Weizen: Auflaufen der Keimpflanzen am 6.4. Danach in beiden Düngungsvarianten normales Wachstum. Während der gesamten Vegetationsperiode keine S-Mangelererscheinungen. Blühbeginn in beiden Varianten am 9.5. Keine Unterschiede in der Kornreife.
- b) Ölrettich: Auflaufen der Keimpflanzen in beiden Varianten am 6.4. Blühbeginn am 29.5. Beginnende Schotenausbildung am 12.6. Bei Pflanzen mit S-Düngung normale Entwicklung, keine Anzeichen für Nährstoffmangel. Bei Pflanzen ohne S-Düngung erste S-Mangelererscheinungen am 8.5. sichtbar. Aufhellungen an den jüngsten Blättern. Mit fortschreitendem Wachstum weisen die S-Mangelpflanzen gehemmtes Längenwachstum auf. Später auch die älteren Blätter aufgehellt, zum Teil mit rötlichen Farbtönen. Vorzeitiges Absterben der älteren Blätter. Schoten kleiner und weniger zahlreich als bei Pflanzen mit S-Düngung. Bei beiden Varianten wurden die abgestorbenen Blätter gesammelt; bei der letzten Ernte in beiden Varianten die Pflanzen praktisch ohne Blätter.

E r n t e p l a n

| Ernte | Datum   | Tage n. Saat | Anzahl d. Pflanzen pro Ernte  |                               |
|-------|---------|--------------|-------------------------------|-------------------------------|
|       |         |              | Weizen                        | Ülrettich                     |
| 1     | 18.4.69 | 16           | 60                            | 60                            |
| 2     | 24.4.69 | 22           | 60                            | 60                            |
| 3     | 1.5.69  | 29           | 60                            | 60                            |
| 4     | 8.5.69  | 36           | 60                            | 40                            |
| 5     | 15.5.69 | 43           | 60                            | 40                            |
|       |         |              | (Vereinz.auf<br>20 Pfl./Gef.) | (Vereinz.auf<br>13 Pfl./Gef.) |
| 6     | 22.5.69 | 50           | 2 Gef.zu je 20                | 2 Gef. zu je 13               |
| 7     | 29.5.69 | 57           | 2 Gef.zu je 20                | 2 Gef. zu je 13               |
| 8     | 5.6.69  | 64           | 2 Gef.zu je 20                | 2 Gef. zu je 13               |
| 9     | 12.6.69 | 71           | 2 Gef.zu je 20                | 2 Gef. zu je 13               |
| 10    | 19.6.69 | 78           | 2 Gef.zu je 20                | 2 Gef. zu je 13               |
| 11    | 26.6.69 | 85           | 2 Gef.zu je 20                | 2 Gef. zu je 13               |
| 12    | 3.7.69  | 92           | 2 Gef.zu je 20                | 2 Gef. zu je 13               |
| 13    | 10.7.69 | 99           | 2 Gef.zu je 20                | 2 Gef. zu je 13               |
| 14    | 21.7.69 | 110          | 2 Gef.zu je 20                | 2 Gef. zu je 13               |
| 15    | 31.7.69 | 120          | 2 Gef.zu je 20                | 2 Gef. zu je 13               |

Witterung: Mit Hilfe eines Thermohygrographen wurden kontinuierlich die Temperaturwerte ermittelt; aus den Mittelwerten von Pentaden wurde eine Temperaturkurve gezeichnet (Abb. 1).

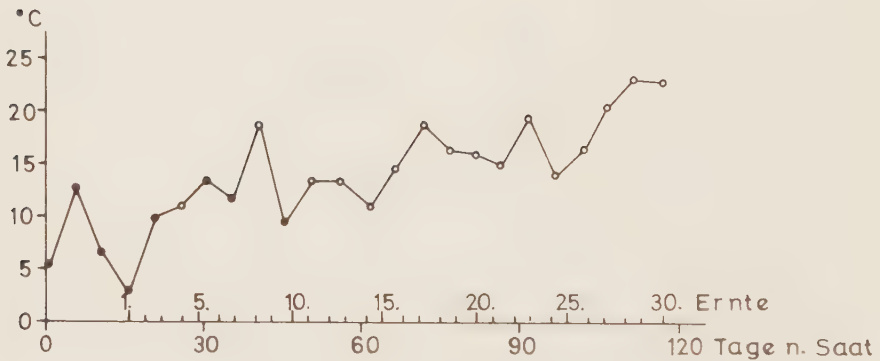


Abb. 1: Temperaturkurve für die Vegetationsperiode 1969 (Pentaden Mittelwerte)

## Chemische Analyse

### Rohproteinbestimmung

Die Bestimmung des Rohproteingehaltes erfolgte nach KJELDAHL: Aufschluß des trockenen Pflanzenmaterials mit konz.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  und Selenreaktionsgemisch, Destillation des in Ammoniumsulfat überführten organisch gebundenen Stickstoffs in eine Salzsäurevorlage und Ermittlung des durch  $\text{NH}_3$  neutralisierten Anteils der Säurevorlage; Umrechnung von Stickstoff auf Rohprotein mit dem Faktor 6,25.

### Reinproteinbestimmung

Methode Stutzer-Barnstein (nach NEHRING 1960). Die nicht eiweißartigen stickstoffhaltigen Verbindungen werden analytisch vom Reinprotein durch Extraktion mit heißem Wasser abgetrennt. Eventuell hierbei in Lösung gehendes Reinprotein wird durch Kupfersulfat gefällt. Nach Filtration wird der Filtrerrückstand dem Analysengang der Rohproteinbestimmung unterworfen

### Bestimmung der gesamten hydrolytischen Kohlenhydrate

Nach Erprobung mehrerer Methoden ergab sich, daß diejenige von NAGUIB (1962, 1963, 1964) unter Einfügung einiger Veränderungen am besten für die vorliegenden Untersuchungen geeignet war.

Die Methode beruht auf der Reduktion von Kupfer durch Monosaccharide.

Arbeitsvorschrift: 100 mg Trockensubstanz (bei  $80^\circ\text{C}$  getrocknet) werden mit 20 ml 1,5 n  $\text{H}_2\text{SO}_4$  4 Stunden am Rückflußkühler hydrolysiert. Das Hydrolysat wird unter Verwendung von 5 n NaOH gegen Phenolrot (0,02 % gelöst in 0,002 n NaOH) schwach alkalisch gemacht. Mit ver-

dünnter Schwefelsäure (0,5 n) wird dann das alkalische Hydrolysat annähernd neutralisiert (Umschlag des Phenolrots von rot nach gelb). Mit basischem Bleiacetat (137 g/l Blei (II)-hydroxidacetat wasserfrei zur Zuckeranalyse nach Horne) und Natriumdihydrogenphosphat (119 g/l + 2 ml  $\text{H}_2\text{SO}_4$  konz.) wird das Hydrolysat geklärt, dann mit Wasser auf ein bestimmtes Volumen aufgefüllt und durch Blaubandfilter filtriert. Ein aliquoter Teil des Filtrats (1-10 ml je nach Kohlenhydratgehalt) wird in ein Reagenzglas pipettiert (dickwandige Reagenzgläser speziell für Kohlenhydratbestimmung), das, nach Ergänzung mit Wasser auf 10 ml, für 15 Minuten bei  $100^\circ\text{C}$  ins Wasserbad gestellt wird. Danach werden 2 ml verbesserte Nelsonlösung (die Nelsonlösung (1944) wurde von NAGUIB verbessert) zugegeben, und die Proben werden nochmals 15 Minuten bei  $100^\circ\text{C}$  im Wasserbad erwärmt. Die Reagenzgläser werden dann mit 3 ml Arsenmolybdatlösung versetzt, geschüttelt und am Spektralphotometer bei  $750\text{ }\mu\text{m}$  gemessen (PMQ II Zeiss).

#### Verbesserte Nelsonlösung

- Lsg. A:
1. 25 g Natriumkarbonat
  2. 25 g Kalium-Natriumtartrat
  3. 25 g Natriumbikarbonat
  4. 36,8 g Kaliumoxalat

Diese Mengen werden in Wasser gelöst und in obiger Reihenfolge zu 11 aufgefüllt. Sollte dabei ein Niederschlag entstehen, muß man die Lösung filtrieren.

Lsg. B: 15 % Kupfersulfat ( $150\text{ g/l CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )

Die verbesserte Nelsonlösung wird durch Mischen von 25 Teilen A-Lösung und einem Teil B-Lösung bzw. einem Liter A-Lösung und 40 ml B-Lösung hergestellt. Zu jedem Liter dieser Mischung gibt man 2-3 Tropfen konz.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  und bewahrt die fertige Lösung in dunkler Flasche (im Kühlschrank) auf.

Arsenmolybdatlösung:

1. 25 g Ammoniummolybdat werden in 450 ml Wasser durch Erhitzen gelöst. Nach dem Erkalten Lösung mit 21 ml konz.  $H_2SO_4$  versetzen.
2. 3 g Natriumarsenat in 25 ml Wasser lösen. Beide Lösungen werden vermischt und in dunkler Flasche aufbewahrt. Diese Lösung ist mindestens 24 Stunden vor Gebrauch anzusetzen und kann bis zu 2 Monate aufbewahrt werden. Unter Verwendung von Glucose : Fructose = 1 : 1 wird eine Eichkurve erstellt und der Umrechnungsfaktor ermittelt.

In der gesamten Arbeit werden unter Kohlenhydraten sämtliche nach der Hydrolyse zur Bestimmung gelangenden Kohlenhydrate verstanden, d. h. im wesentlichen Gesamtzucker (Mono- und Disaccharide) sowie die Stärke.

### Gesamtschwefelbestimmung

Methode SAALBACH et al. (1961).

1-2 g der lufttrockenen gemahlenden Substanz werden in einer Handpresse zusammen mit dem Zünddraht zu einer Pille gepreßt und in einer Kalorimeterbombe unter einem Sauerstoffdruck von 30 atm verbrannt. Nach kurzem Abkühlen in Wasser öffnet man langsam das Auslaßventil der Bombe und läßt den Sauerstoff und die Verbrennungsgase in ca. 15 Min. durch eine mit 3 %-igem Wasserstoffperoxyd gefüllte Gaswaschflasche mit Fritte strömen. Dabei werden eventuell entstandene  $\text{SO}_2$ -Mengen aufoxydiert. Sobald die Bombe entleert ist, wird sie geöffnet und alle Innenteile werden mit Wasser gut abgespült. Die Spülflüssigkeit wird nun zusammen mit der Absorptionslösung und dem Quarzgläschen, das zur Aufnahme der gepreßten Probe diente, angesäuert und das Wasserstoffperoxyd durch Eindampfen der Lösung auf 50-100 ml vertrieben. Die Bestimmung des  $\text{SO}_4$ -Gehaltes in der Lösung erfolgt nach Abtrennung der Schwermetalle mit Ammoniak durch Fällung als Bariumsulfat.

### Sulfatschwefelbestimmung

Der Gehalt an Sulfat-Schwefel wurde nach dem von SCHARRER und JUNG (1955) vorgeschlagenen Verfahren ermittelt. Hierbei werden 5 g lufttrockenes Material mit 4 g Aktivkohle und 150 ml 2,5 % HCl 30 Min. gekocht. Im Filtrat des Extraktes wird  $\text{SO}_4$ -S mit 5 %  $\text{BaCl}_2$ -Lösung als Bariumsulfat gefällt.

## I. Versuch mit Ackerbohnen

Die Aufrechterhaltung des Zustandes "Leben" erfordert Zufuhr von Energie, die in den verschiedenartigen Lebensvorgängen, den Leistungen des lebenden Systems, verbraucht wird. Diese Energie wird vorwiegend dadurch gewonnen, daß Kohlenhydrate abgebaut werden.

Die Quelle, aus der die Kohlenhydrate gebildet werden und aus der sie immer wieder Nachschub erhalten, ist zum Überwiegenden Teil die Photosynthese, der wichtigste biochemische Vorgang auf dieser Erde. Als energiereiche Verbindungen sind die Monosaccharide Ausgangsstoffe der Glykolyse, oder sie dienen als Zwischenstufen dem Aufbau anderer lebenswichtiger Stoffe. In Form von Speicherkohlenhydraten können Oligo- und Polysaccharide angereichert werden, um für späteren Energiebedarf verfügbar zu sein. Sie bilden außerdem die Gerüstsubstanzen der pflanzlichen Zellwände. Aus der Vielfalt der Aufgaben und der zentralen Stellung im Stoffwechselgeschehen ergibt sich die weite Verbreitung der Kohlenhydrate in der belebten Welt (HEHL, 1971). Ihr Anteil an der Trockensubstanz einer gewöhnlichen Pflanzenzelle beträgt in der Regel mehr als 50 %. In den Speicherorganen von Pflanzen kann der Anteil noch erheblich größer sein; hat man doch gefunden, daß in den Knollen und Rhizomen allein der Anteil an Stärke bis zu 30 % der Frischsubstanz ausmachen kann. In trockenen Samen und Früchten sind sogar Stärkegehalte bis zu 70 % des Trockengewichtes beobachtet worden. Auch der Gehalt an Rohrzucker kann in manchen Speicherorganen bis auf 20 % der Trockensubstanz ansteigen. Im Holz und in der Borke können etwa 40 % der Trockensubstanz aus Cellulose bestehen. Die wenigen Beispiele zeigen deutlich, daß die Kohlenhydrate die in der Pflanzenwelt in größtem Umfange produzierten organischen Verbindungen sind (ARNOLD, 1958).

Die erzeugten Kohlenhydrate dienen dem lebenden System als Energiespender. Durch ihren Abbau bzw. durch ihre Oxydation

wird die bei ihrer Synthese eingespeicherte Energie wieder frei und kann dazu benutzt werden, diejenigen chemischen Vorgänge mit der nötigen Energie zu versorgen, welche die Lebenserscheinungen ausmachen. Dazu gehört auch die Durchführung von Synthesen, bei denen Bausteine hergestellt werden, welche zum Wachstum des lebenden Systems selbst benötigt werden. Hierzu ist nicht nur Energie nötig, sondern auch das Material, aus dem die Bestandteile aufgebaut sind. Dieses Material stammt ebenfalls zum größten Teil aus dem Abbau von Kohlenhydraten. Da dieser Abbau über zahlreiche Zwischenstufen bzw. Zwischenprodukte erfolgt, können auf dem Wege zur völligen Oxydation zur Kohlensäure solche Zwischenprodukte abgezweigt und zu Synthesen anderer Stoffe verwendet werden (LINSER, 1969), (Abb. 2).

Auf den Zusammenhang zwischen Wachstum und Kohlenhydrat-haushalt wurde bereits früher verschiedentlich hingewiesen. BROWN und BLASER (1965) beobachteten bei Dactylis glomerata und Festuca arundinacea ein durch gute N-Versorgung hervorgerufenen schnelles Wachstum, das mit einem Absinken des Kohlenhydratspiegels verbunden war. Umgekehrt führten, ebenso wie ungünstige ökologische Bedingungen, z. B. niedrige Temperaturen oder Trockenheit, geringe N-Gaben zu einem gedrosselten Wachstum, das eine Ansammlung der Reservekohlenhydrate zur Folge hatte. Weitere Untersuchungen über die Abhängigkeit des Kohlenhydrat-haushaltes von den Klimafaktoren führten die Autoren zu der verallgemeinernden Aussage, daß Wachstumsrate und Kohlenhydratgehalte in umgekehrter Relation zueinander stehen (BROWN und BLASER, 1970; JERMIAS, 1966).

Neueste Untersuchungen von ZEID und KUHN (1973) haben das Reinprotein/Kohlenhydrat-Verhältnis in der Karottenpflanze zum Gegenstand. Sie zeigen, daß sich dieses Verhältnis im Verlauf der Vegetationsperiode sehr stark verändert. Während es in der jugendlichen Pflanze größer als 1 ist, nimmt es mit fortschreitendem Wachstum immer rascher ab, um am Ende den Wert von 0,1 zu erreichen.

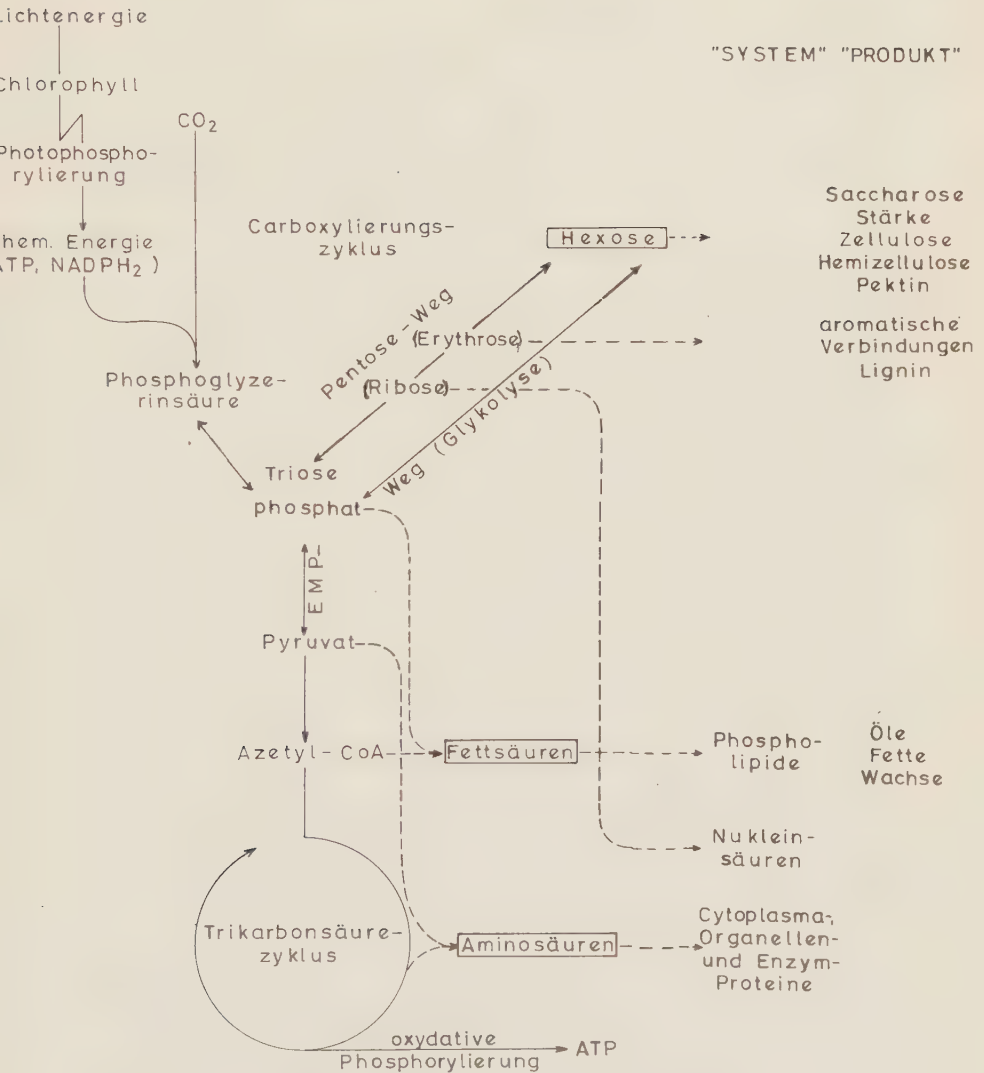


Abb. 2: Schematische Darstellung der wichtigsten Stoffwechselabläufe in der Zelle und die wichtigsten Endprodukte im Hinblick auf System und Produkt (in Anlehnung an RAAFIAT, 1967).

## 1. Verlauf der Ertragsbildung

Ausgangsmaterial und Bezugsgröße für alle analytischen Untersuchungen ist die pflanzliche Trockensubstanz, wie sie nach Trocknung des frischen Pflanzenmaterials bei etwa 100°C erhalten wird. Der Verlauf der Substanzproduktion bei Ackerbohnen im Verlauf der Vegetationsperiode ist, für die gesamte Pflanze von Anbeginn und für die einzelnen Pflanzenorgane vom 50. Tag, an, in Abb. 3 und Tabelle 2 dargestellt. Wie aus der Abbildung hervorgeht, ist unter "Gesamtpflanze" die Summe der Gewichte sämtlicher oberirdischer Pflanzenteile zu verstehen, während die Wurzelgewichte gesondert angegeben werden.

Bei einjährigen Pflanzen kommt es nach Ablauf der für sie typischen Entwicklungsvorgänge zum Stillstand jeglicher Zellteilung und damit zur Totreife. In dem der Totreife vorausgehenden Entwicklungsabschnitt kommt es meistens zu einem leichten Absinken des Gewichtes infolge von Stoffverbrauch (Veratmung von Reservestoffen) und Stoffabgabe aus absterbenden Pflanzenteilen während des Reifevorganges (LINSER, 1969). Auch die vorliegenden Untersuchungen lassen diesen Vorgang erkennen. Der in diesem Versuch beobachtete Gewichtsverlust von der vorletzten bis zur letzten Ernte (120. - 124. Tag) ist aber so beträchtlich, und die Abweichung gegenüber Wachstumskurven aus zahlreichen anderen Untersuchungen ist so auffallend, daß angenommen werden muß, daß die bei der letzten Ernte ermittelten Ertragswerte nicht entwicklungsbedingt, sondern zufällig sind. Diese Annahme wird durch die Tatsache bestärkt, daß von dem Verlust in erster Linie die Samen betroffen sind, bei denen Substanzverluste durch Atmung und Abwanderung höchst unwahrscheinlich sind. Die mit der 32. Ernte, am 124. Tag, zusammenhängenden Ertrags- und Gehaltsermittlungen werden deshalb nur in den jeweiligen Tabellen angeführt, in den Abbildungen und bei der Besprechung der Ergebnisse werden sie nicht berücksichtigt.

Trockenmasse  
(g / Pfl.)

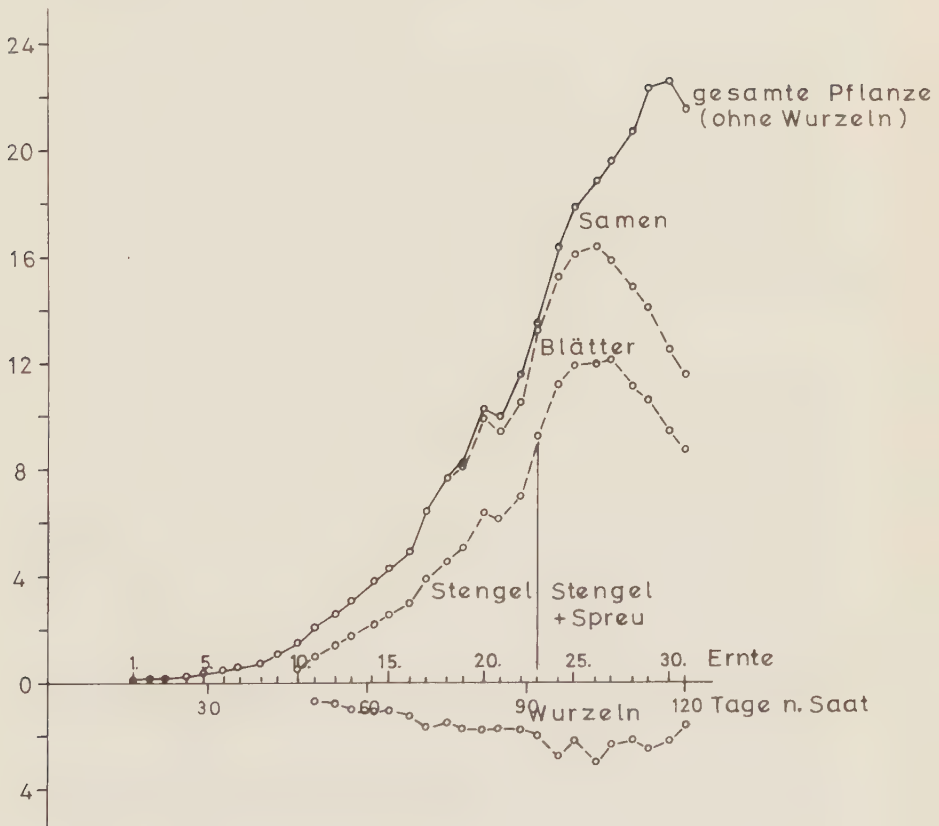


Abb. 3: Trockengewichte (g/Pfl.) bei Ackerbohnen (Ganze Pflanze, Blätter, Stengel, Hülsen bzw. Samen, Wurzeln) im Verlauf der Vegetationsperiode

Die Entwicklung der Gesamtpflanze und der einzelnen Organe folgt einer S-förmigen Wachstumskurve, die in der Mitte, zwischen 85. und 100. Wachstumstag, ihren stärksten Anstieg hat.

Bis zur 30. Ernte nimmt die Trockenmasse der Gesamtpflanze ständig zu. Der Maximalwert der Kurve wird am 117. Tag mit 22,6 g/Pflanze erreicht. Bis zur letzten Ernte nimmt das Gesamtgewicht wieder leicht ab auf einen Endwert von 21,6 g. Blätter und Stengel erreichen ihr Maximalgewicht zu einem früheren Zeitpunkt, erstere mit 4,5 g am 103. Tag, letztere mit 12,1 g am 106. Tag. Danach nimmt das Gewicht beider Organe bis zum Versuchsende ab. Die Hauptzunahme des Samengewichtes erfolgt in der Zeit vom 105. Tag bis zum Versuchsende. Das Maximalgewicht wird am 120. Tag mit 10,1 g erreicht.

Der Anstieg des Wurzelgewichtes erfolgt wesentlich langsamer als der des Sproßgewichtes. Es erreicht seinen maximalen Wert etwa zum gleichen Zeitpunkt wie Blätter und Stengel.

Die Wurzelgewichte, die in Gefäßversuchen auf natürlichem Boden ermittelt werden, sind mit Fehlern behaftet und kritisch zu bewerten. Auch bei sorgfältigstem Auswaschen sind Verluste, vor allem an feinsten Haarwurzeln, nicht zu vermeiden. Diese haben sehr wahrscheinlich einen höheren Roh- und Reinproteingehalt als die bei der Auswaschung gewonnenen, so daß auch diese Werte nur mit Vorbehalt zu betrachten sind. Die in Zusammenhang mit den Wurzeln ermittelten Werte sind somit eher als Annäherungswerte zu betrachten.

## 2. Rohproteingehalt

Bei der ersten Ernte, 16 Tage nach der Saat, wird in den jungen Pflanzen mit 45 % i.d.Tr.S. ein hoher Gehalt an

Rohprotein angetroffen (Abb. 4 und Tab. 3). Ähnlich hohe Anfangsgehalte wurden bei Vicia faba bereits früher von El GHAMRAWY (1969) festgestellt. Hier betrug der Rohproteingehalt noch 30 Tage nach der Saat 43,0 %. Demgegenüber fanden TITZE (1968) und LACH (1968, 1969) bei Sommerweizen und Ölrettich Rohprotein-Anfangsgehalte von nur 30-35 % i.d.Tr.S.

Der hohe Anfangsgehalt der Gesamtpflanze sinkt aber bis zum 50. Tag rasch, von da bis zum 68. Tag, etwa dem Zeitpunkt der Blüte, langsam ab und bleibt dann bis zur Reife mit etwa 14 % auf annähernd gleicher Höhe. Auf Grund der Zunahme an Trockenmasse bedeutet gleichbleibender Gehalt an Rohprotein jedoch eine ständige Zunahme der Rohproteinmenge. Ähnliche Veränderungen im Rohproteingehalt von Ackerbohnen haben WEBSTER (1928), ERDMAN (1929) und HAMMOND et al. (1951) gefunden.

Der Rohproteingehalt der ganzen Pflanze resultiert aus dem Rohproteingehalt der einzelnen Pflanzenteile. Nach der Auftrennung in einzelne Organe (am 50. Tag) ergibt sich, daß der Rohproteingehalt der Blätter mit 21,7 % mehr als doppelt so hoch ist wie der der Stengel mit 8,1 %. Mit etwa 24 % bleibt der Gehalt in den Blättern bis zum 82. Tag nahezu konstant. Nach vorübergehendem Anstieg, zu Beginn der Samenausbildung, nimmt dann der Gehalt der Blätter ständig bis zum 117. Tag auf einen Wert von 10,5 % ab. In der letzten Wachstumsphase erfolgt noch einmal ein geringfügiger Anstieg.

Der bereits am 50. Tag relativ niedrige Rohproteingehalt der Stengel nimmt bis zum 90. Tag noch weiter ab auf Werte zwischen 5-6 %. Ein plötzlicher Anstieg am 92. Tag ist darauf zurückzuführen, daß von diesem Tag an eine Trennung der Frucht in Hülsen und Samen möglich war und die leeren Hülsen als Spreu dem Stengel zugeschlagen wurden. Diese Hinzunahme der an Rohprotein reichen Hülsen

Rohprotein  
(% i.d. T.S.)

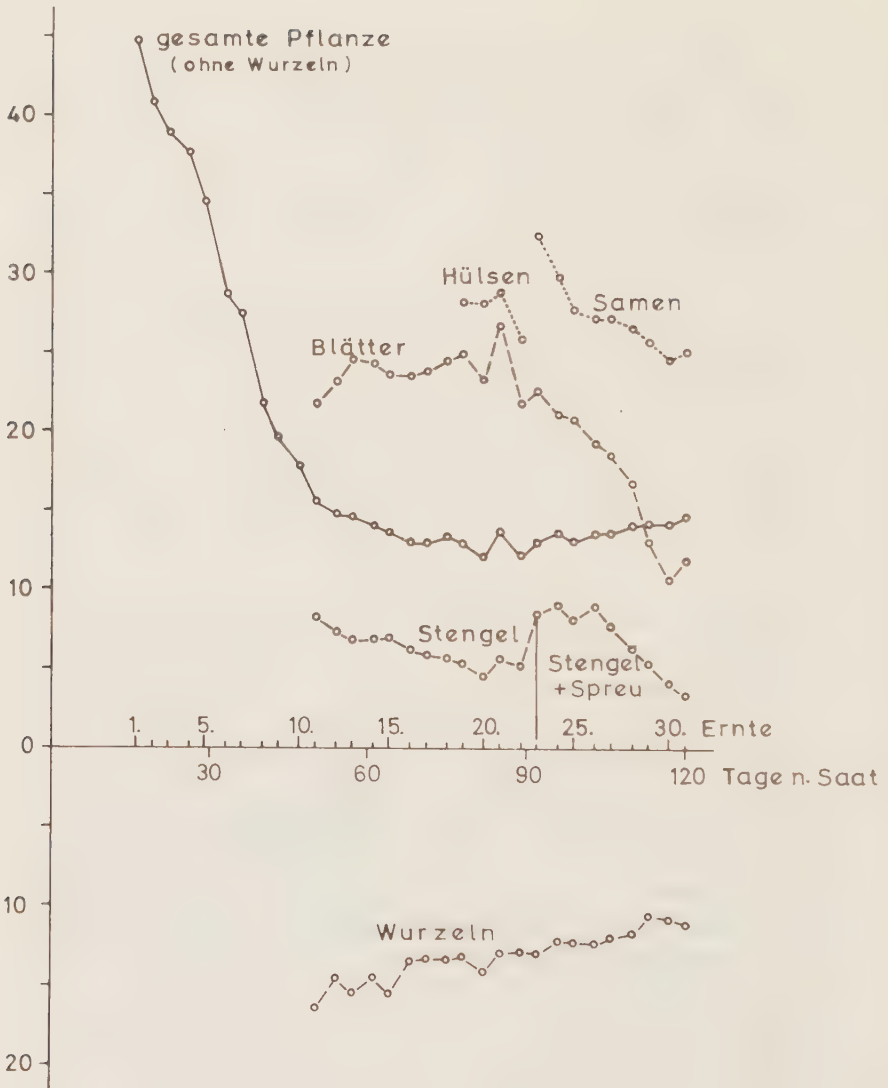


Abb. 4: Rohproteingehalte (in % d.Tr.S.) bei Ackerbohnen (Ganze Pflanze, Blätter, Stengel, Hülsen bzw. Samen, Wurzeln) im Verlauf der Vegetationsperiode

führt zu dem starken Anstieg des Rohproteingehaltes auf fast 9 % in der jetzt als "Stengel + Spreu" bezeichneten Fraktion. Dieser hohe Gehalt dauert bis zum 103. Tag an, sinkt dann aber bis zum Versuchsende auf etwa 3.2 % ab.

Am 78. Tag war erstmalig die Ernte von Hülssen möglich, jedoch erst nach drei weiteren Zwischenernten konnte eine Abtrennung der Samen erfolgen. Der mittlere Rohprotein-gehalt der Hülssen liegt mit durchschnittlich 28 % über dem der Blätter. Das erklärt auch den plötzlichen Anstieg des Rohproteingehaltes in der Fraktion "Stengel + Spreu" am 92. Tag.

Der anfängliche Rohproteingehalt der noch unreifen Samen beträgt bei der ersten möglichen Abtrennung 32 %, er sinkt bis zur Reife auf einen Wert von 24,9 % ab.

Ähnliche Veränderungen im Rohproteingehalt der einzelnen Pflanzenteile, wie sie hier bei Vicia faba nach der Blüte auftreten, fand auch OHLROGGE (1960) bei Sojabohne. Er stellte fest, daß relativ am wenigsten der Gehalt der Samen an Rohprotein verändert wird, während er bei anderen Pflanzenteilen stärkeren Änderungen unterliegt.

Der Rohproteingehalt der Wurzeln, die zu allen Ernteterminen einen starken Besatz mit Knöllchen aufweisen, wurde ebenfalls vom 50. Tag an bestimmt. Er beträgt zu Anfang 16,4 % und sinkt bis zur Ernte allmählich auf einen Wert von etwa 11 % ab. Die Untersuchungen von SALAMA (1955) und EL GHAMRAWY (1969), ebenfalls an Wurzeln von Ackerbohnen, führten zu ähnlichen Ergebnissen.

#### Rohproteinmengen je Pflanze

Die Rohproteinmenge (Abb. 5 und Tab. 4) resultiert aus dem Rohproteingehalt und dem jeweiligen Ertrag. Der Kurvenverlauf für die Gesamtpflanze ist ein ähnlicher wie bei der Entwicklung der Trockenmasse (Abb. 3). Nach relativ langsamem Anstieg bis zum 68. Tag nimmt die Roh-

Rohprotein  
(mg / Pfl.)

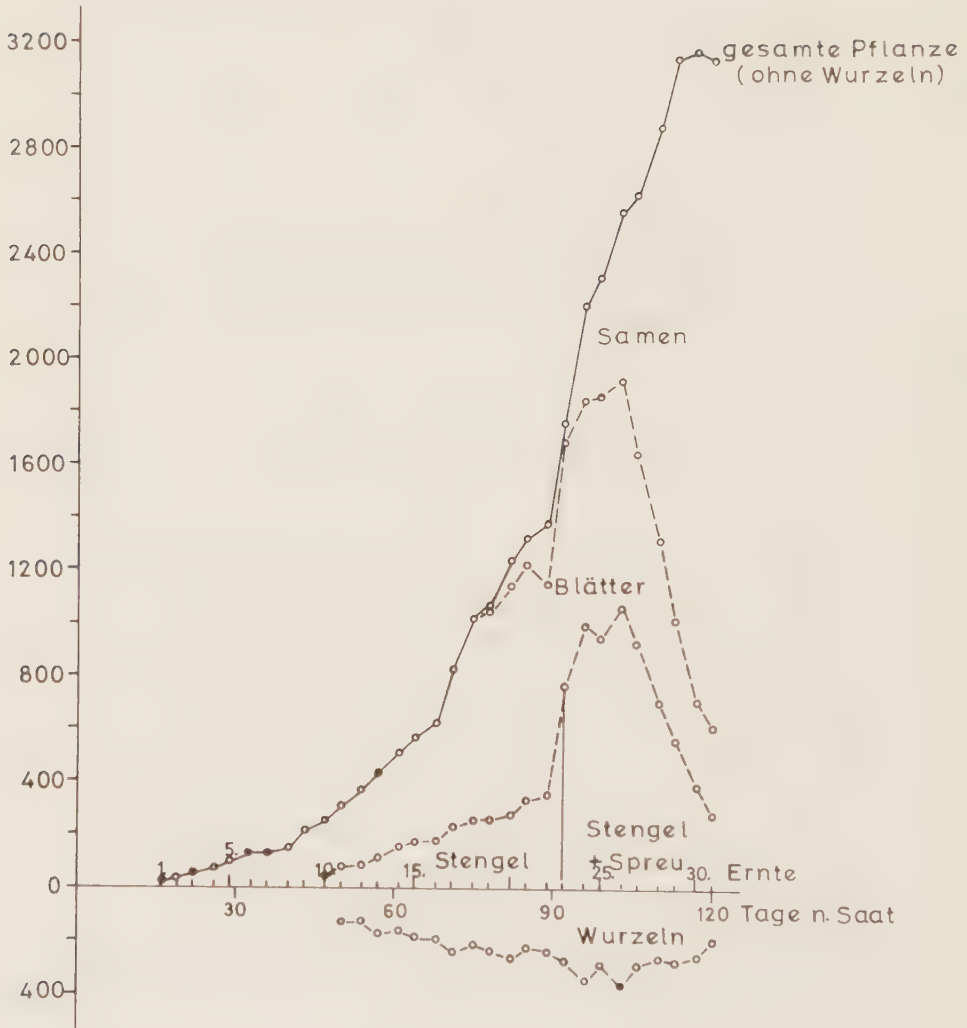


Abb. 5: Rohproteinmengen (mg/Pfl.) bei Ackerbohnen (Ganze Pflanze, Blätter, Stengel, Hülsen bzw. Samen, Wurzeln) im Verlauf der Vegetationsperiode

proteinmenge je Pflanze stark zu und erreicht am 117. Tag mit 3153 mg ihren Maximalwert, um danach noch einmal leicht abzufallen. Das stimmt mit Versuchen von TOGARI et al. (1955) mit Sojabohnen überein, die ebenfalls eine Zunahme der Rohproteinmenge bis fast zur völligen Reife fanden.

Eine ähnliche Entwicklung wie die ganze Pflanze zeigen anfänglich Blätter und Stengel (+Spreu). Hier wird der Maximalwert der Rohproteinmenge jedoch bereits am 103. Tag erreicht mit etwa 900 mg für Blätter und 1050 mg für Stengel + Spreu. Danach setzt eine starke Abnahme in den vegetativen Teilen der Pflanze ein bis auf einen Endwert von 600 mg. Gleichzeitig steigt die Rohproteinmenge in den Samen steil an, und es wird offensichtlich, daß eine umfangreiche Umlagerung von Rohprotein innerhalb der Pflanze stattfindet. Die Zunahme an Rohprotein in den Samen ist aber größer als die Abnahme in den vegetativen Pflanzenteilen, was gleichbedeutend damit ist, daß auch während der Umlagerungsprozesse noch dauernd neues Rohprotein gebildet wird, das ebenfalls überwiegend in den Samen zur Ablagerung kommt.

Auf den engen Zusammenhang zwischen Rohproteinmenge und Trockenmasse im Verlauf der Vegetationsperiode weisen auch ERDMAN und MEANS (1952) hin. Bei ihren Untersuchungen über die mineralische Ernährung der Sojabohne fanden sie bei drei verschiedenen Sorten für die Beziehung zwischen Ertrag an Trockenmasse und der Menge des Stickstoffs in der Pflanze Korrelationskoeffizienten von 0,98 und 0,89 bzw. 0,98. Die Umlagerung des Stickstoffs bzw. Rohproteins in der Sojabohnenpflanze wurde von HAMMOND et al. (1951) näher untersucht. Die Autoren zeigten an einem Feldversuch, daß vom 87. Wachstumstag bis zur Reife am 136. Tag die gesamte Stickstoffmenge in den Pflanzen eines Acre um 48 lbs. zunahm. In den Samen und Hülsen betrug die Zunahme jedoch 121 lbs. Die Differenz von 73 lbs. schreiben die

Autoren einer Verlagerung des Stickstoffs aus den vegetativen Teilen der Pflanze in die generativen Teile zu.

Im Vergleich mit den oberirdischen Teilen der Pflanze nimmt die Rohproteinmenge in den Wurzeln nur langsam zu, vom 50. Tag bis zum 103. Tag von 140 auf maximal 375 mg. Wie bei Blättern und Stengeln fallen danach die Werte langsam ab. Auch diese Abnahme muß in Verbindung mit der allgemeinen Rohproteinverlagerung in die Samen gebracht werden.

### 3. Reinproteingehalt

Da alle Enzyme überwiegend aus Protein bestehen, kann bei Geweben, die kein Reserveprotein speichern, der Gehalt an Reinprotein als Maß für den Gehalt an produzierendem lebendem System dienen. Das Rohprotein umfaßt außer dem Reinprotein noch eine Reihe von stickstoffhaltigen Verbindungen nichteiweißartiger Natur, wie freie Aminosäuren und Amide, die nicht den lebentragenden Strukturen zuge-rechnet werden können.

Wie auch beim Rohprotein nimmt der Reinproteingehalt der ganzen Pflanze (Abb. 6 und Tab. 5) im Verlauf der Vegetationsperiode ab und folgt im Prinzip dem nach früheren Untersuchungen (LINSER, 1967) zu erwartenden Kurvenver-lauf. In Untersuchungen mit Weizen und Ölrettich (LINSER et al., 1968; LACH, 1969) zeigte sich, daß der Reinprotein-gehalt der Gesamtpflanze von Beginn der Keimung bis etwa 10 Tage danach einen hohen und nahezu konstanten Wert auf-wies. Er sank jedoch danach schnell ab und erreichte um den 50. Tag die Hälfte des Ausgangswertes. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch LINSER und ZEID (1972) bei Karot-tenpflanzen.

Bei den eigenen Untersuchungen, die 16 Tage nach der Saat beginnen, nimmt der Reinproteingehalt der ganzen Pflanze sogleich bis zum 50. Tag schnell ab; zwischen dem 50. und 80. Tag wird die Abnahme langsamer, danach bleibt bis zum 106. Tag der Reinproteingehalt nahezu konstant. Er beträgt in dieser Periode etwa ein Drittel des Ausgangs-wertes. Vom 106. Tag bis zum Versuchsende, in der Zeit des Absterbens der vegetativen Pflanzenorgane, erfolgt wieder ein deutlicher Anstieg, wie er beim Rohprotein nicht zu beobachten ist. Da der Reinproteingehalt von Blättern und Stengeln in der gesamten Wachstumsperiode fast gleichsinnig verläuft wie der Rohproteingehalt, kann diese am Ende der Vegetationsperiode beobachtete Zunahme im Reinproteinge-halt der ganzen Pflanze nur durch eine entsprechende

Reinprotein  
(% i. d. T.S.)

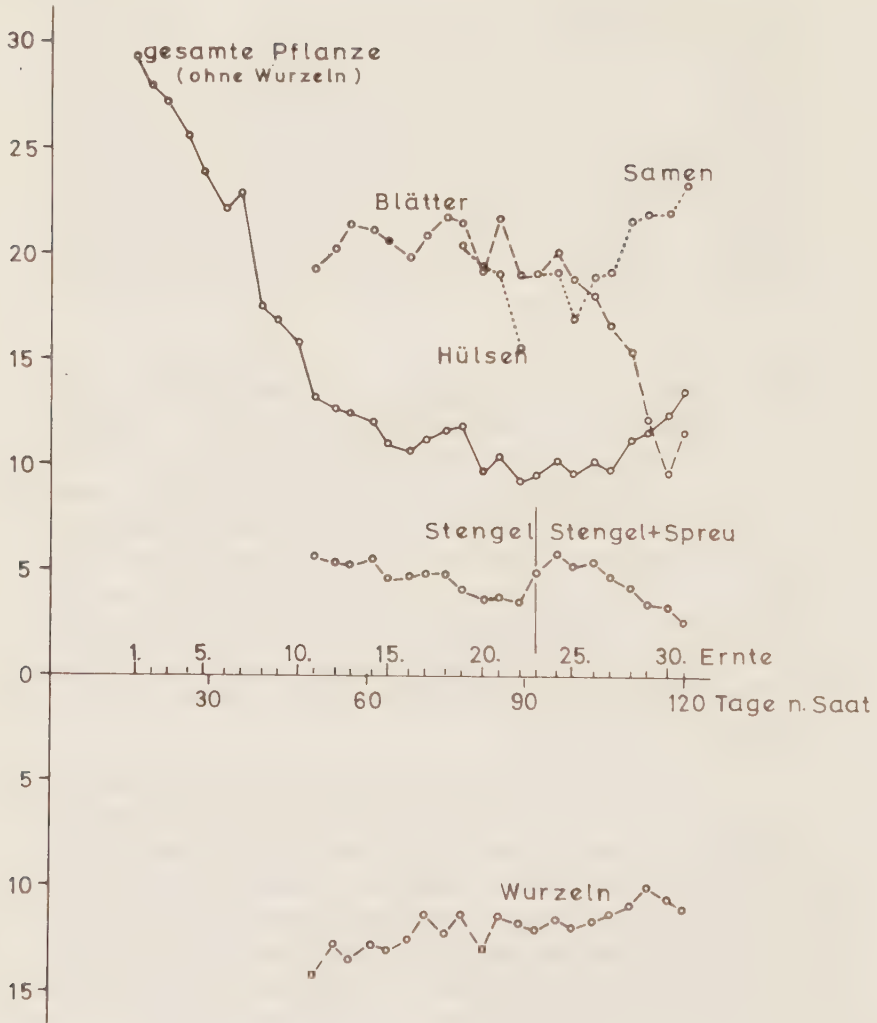


Abb. 6: Reinproteingehalte (% d.Tr.S.) bei Ackerbohnen  
(Ganze Pflanze, Blätter, Stengel, Hülsen bzw.  
Samen, Wurzeln) im Verlauf der Vegetationsperiode

Zunahme in den Samen bedingt sein. Das ist auch tatsächlich der Fall. Vom 99. bis zum 120. Tag steigt der Reinproteingehalt in den Samen an. Im Gegensatz dazu nimmt der Rohproteingehalt in der gleichen Periode ständig ab. Die nachstehende Tabelle macht das besonders deutlich:

Tabelle a: Roh- und Reinproteingehalte der Samen (% d. Tr.S.) im Verlauf ihrer Ausbildung.

| Tage nach der Saat | % Rohprotein in d. T.S. | % Reinprotein in d. T.S. | N-haltige Nicht-eiweißverbindungen in % | Gehalt des Rohproteins an Reinprotein in % |
|--------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|
| 92                 | 32,2                    | 19,0                     | 13,2                                    | 59,0                                       |
| 96                 | 29,7                    | 19,1                     | 10,6                                    | 64,3                                       |
| 99                 | 27,5                    | 16,8                     | 10,7                                    | 61,1                                       |
| 103                | 27,0                    | 18,9                     | 8,1                                     | 70,0                                       |
| 106                | 27,0                    | 19,0                     | 8,0                                     | 70,4                                       |
| 110                | 26,5                    | 21,5                     | 5,0                                     | 81,1                                       |
| 113                | 25,8                    | 21,9                     | 3,9                                     | 84,9                                       |
| 117                | 24,4                    | 21,9                     | 2,5                                     | 89,8                                       |
| 120                | 24,9                    | 23,2                     | 1,7                                     | 93,2                                       |
| 124                | 24,7                    | 23,2                     | 1,5                                     | 93,9                                       |

Auch wenn man die gesamte Pflanze im Lauf der Entwicklung betrachtet, kann man feststellen, daß der Anteil des Reinproteins am Rohprotein ähnlichen Veränderungen unterliegt. Er beträgt zu Beginn der Vegetationsperiode 65,6 %. In den folgenden Wochen nimmt der Anteil des Reinproteins zu und erreicht Werte zwischen 72 und 88 %, und bei der letzten Ernte macht das Reinprotein 93,7 % des Rohproteins aus.

Der Reinproteingehalt der Blätter bewegt sich vom Zeitpunkt der isolierten Untersuchung (am 50. Tag) bis zum Beginn der Samenbildung auf einem nahezu konstanten Wert

um 20 %. Danach sinkt er innerhalb relativ kurzer Zeit auf die Hälfte ab. Zum Schluß erfolgt noch einmal ein geringer Anstieg. Der nahezu konstante Reinprotein-gehalt der Blätter zwischen 50. und 90. Tag, also in der Zeit besonders starker Vermehrung an Blatt-Trockenmasse, ist gleichbedeutend mit einer hohen Reinproteinproduktion, worauf später noch näher eingegangen wird.

Der anfängliche Gehalt der Stengel an Reinprotein von etwa 5 % sinkt bis zum 90. Tag auf 3 % ab, erfährt durch Hinzunahme der Hülsen eine erneute Anhebung auf den ursprünglichen Wert und sinkt dann bis zur Reife auf etwa 2,5 % ab, dem niedrigsten ermittelten Reinproteinwert in der Ackerbohnenpflanze überhaupt.

Die Hülsen zeigen im Verlauf von vier Ernteterminen bei starker Gewichtszunahme eine Abnahme des Reinproteingehaltes von 20 auf 15 %.

Wurzeln lassen während der gesamten Beobachtungszeit vom 50. bis zum 120. Tag eine gleichmäßige Abnahme des Reinproteingehaltes von etwa 14 auf 11 % erkennen.

Die beobachtete Zunahme des Reinproteingehaltes in den Samen von Vicia faba ist eine Erscheinung, die zumindest für Nichtleguminosen nicht zuzutreffen scheint. Bei Sommerweizen und Ölrettich fanden LINSER et al. (1968), daß der Gehalt an Reinprotein in den Körnern bzw. Samen von Sommerweizen und Ölrettich während der gesamten Entwicklung relativ konstant blieb, bei Weizen mit Werten um etwa 9 %, bei Ölrettich um etwa 15 %. Auch die eigenen Untersuchungen bei diesen Pflanzen stimmen mit denen der genannten Autoren weitgehend überein.

Ein weiterer auffallender Unterschied zwischen Ackerbohnen einerseits und Sommerweizen sowie Ölrettich andererseits besteht in der absoluten Höhe der Reinproteingehalte der ganzen Pflanze, insbesondere in der zweiten Hälfte der Vegetationsperiode. Sie liegen bei Ackerbohnen

in diesem Zeitraum zwischen 10 und 12 %, bei Sommerweizen und Ölrettich dagegen bei 2,5 bzw. 6 %. Hier wird der Unterschied in der Zusammensetzung von Leguminosen- und Nichtleguminosenpflanzen besonders deutlich.

#### Reinproteinmenge je Pflanze

Abb. 7 und die Werte der Tab. 6 zeigen, daß, wie beim Rohprotein, die Menge des Reinproteins von Beginn der Untersuchungen bis zum 120. Tag ständig zunimmt. Der Maximalwert beträgt schließlich 2885 mg/Pflanze. Die Zunahme ist stärker und kontinuierlicher als sie bei Sommerweizen und Ölrettich beobachtet wurde (LINGER et al., 1968; LACH, 1969).

In Blättern und Stengeln steigt die Reinproteinmenge bis zum 96. Tag an (hier beginnt die verstärkte Proteinumlagerung in die Samen). Sie bleibt dann etwa eine Woche auf gleicher Höhe und sinkt danach bis zum Versuchsende steil ab. Die Höchstmengen in Blättern und Stengeln betragen um den 100. Tag 813 bzw. 642 mg je Pflanze, die kleinsten Mengen zwischen 117.- 120. Tag 288 bzw. 223 mg.

Die Reinproteinmenge in den Samen nimmt dagegen vom Zeitpunkt der ersten möglichen Isolierung am 92. Tag bis zum 120. Tag zu und erreicht zu diesem Zeitpunkt den Höchstwert von 2344 mg/Pfl. Die Zunahme der Reinproteinmenge in den Samen erfolgt aber offenbar in zwei Phasen. In der ersten, vom 92. bis zum 106. Tag, steigt die Menge relativ langsam, danach folgt aber eine Periode der sehr starken Speicherung. Jede Periode dauert etwa zwei Wochen. Die Umlagerung des Reinproteins innerhalb der Pflanze im Verlauf der generativen Entwicklung sei noch einmal durch nachstehende Tabelle deutlich gemacht.

Reinprotein  
(mg/Pfl.)

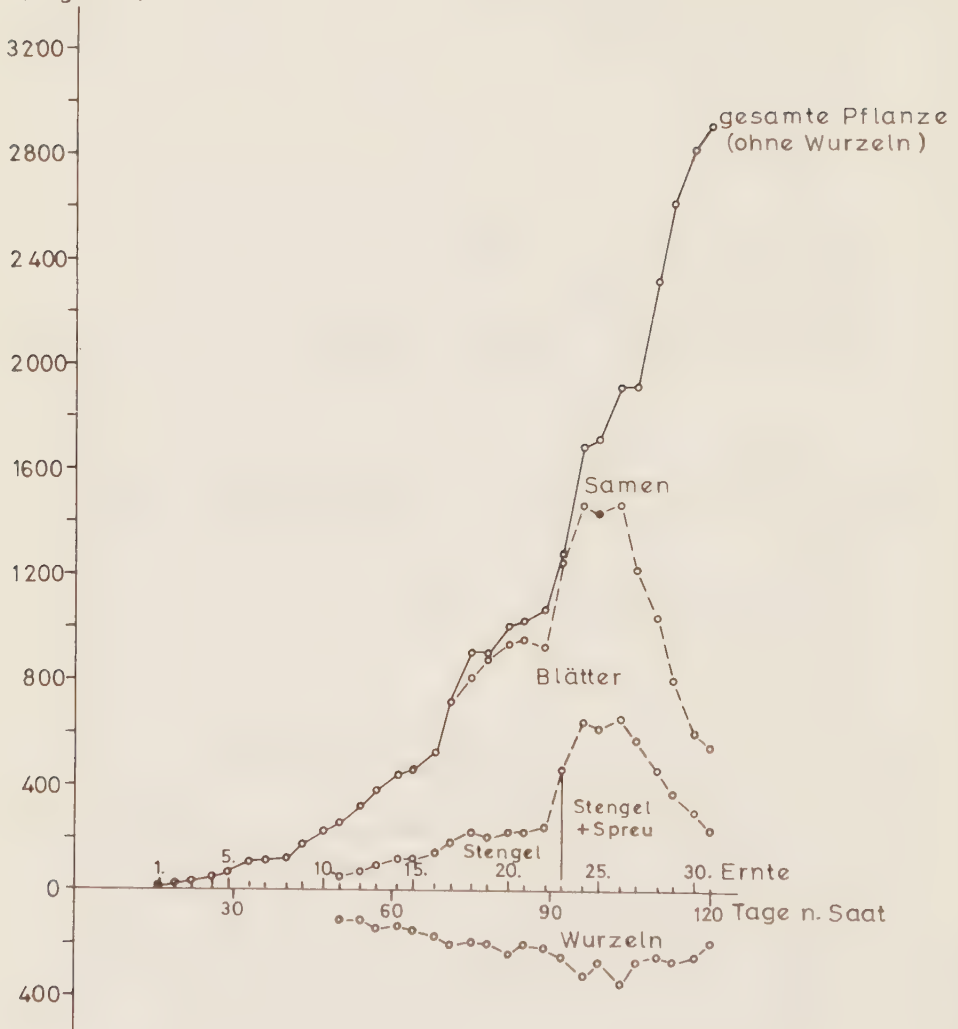


Abb. 7: Reinproteinmengen (mg/Pfl.) bei Ackerbohnen (Ganze Pflanze, Blätter, Stengel, Hülsen bzw. Samen, Wurzeln) im Verlauf der Vegetationsperiode

Tabelle b: Anteil des Reinproteins in Samen und in Blättern + Stengeln am gesamten Reinprotein der Pflanze (in %).

| Wachstumstag | % des gesamten Reinproteins in |                   |
|--------------|--------------------------------|-------------------|
|              | Samen                          | Blätter + Stengel |
| 92.          | 2,9                            | 97,1              |
| 96.          | 13,6                           | 86,4              |
| 99.          | 16,4                           | 83,6              |
| 103.         | 23,7                           | 76,3              |
| 106.         | 36,8                           | 63,2              |
| 110.         | 55,5                           | 44,5              |
| 113.         | 69,9                           | 30,1              |
| 117.         | 79,0                           | 21,0              |
| 120.         | 81,3                           | 18,7              |

Die Reinproteinmenge in den Wurzeln nimmt vom 50. bis etwa zum 100. Tag langsam zu bis zu einem Maximalwert von 356 mg. Sie fällt danach bis zum Versuchsende auf 200 mg/Pflanze ab. Das sind etwa 7 % der in den oberirdischen Pflanzenteilen zu diesem Zeitpunkt vorhandenen Reinproteinmenge.

Auf die ursächlichen Zusammenhänge zwischen Wurzelknöllchen und Stickstoffversorgung der Ackerbohne bzw. ihrem Roh- und Reinproteingehalt näher einzugehen, ist im Rahmen dieser Untersuchungen nicht vorgesehen.

#### 4. Hydrolysierbare Kohlenhydrate in der Ackerbohne

Gehalte an KH.: Die Gehalte der Ackerbohnenpflanze und ihrer oberirdischen Organe an hydrolysierbaren KH im Verlauf der Vegetationsperiode sind in Abb. 8 und Tab. 7 dargestellt. Wurzeln wurden nicht untersucht.

Zu Beginn der Untersuchungen am 16. Wachstumstag liegt bei der ganzen Pflanze der KH-Gehalt bei etwa 20 %. Er sinkt vorübergehend auf etwa 13,3 % (26. Tag), steigt dann bis zum 54. Tag auf etwa den doppelten Wert an und hält sich auf dieser Höhe (etwa 27 %) bis zum 85. Tag. Einem erneuten Anstieg bis zum 96. Tag auf etwa 35 % folgt bis zum 110. Tag wieder eine Periode unbedeutender Veränderungen und danach ein steiler Anstieg bis maximal 44,5 % am 117. Tag. Dieser Höchstwert liegt wesentlich höher als er von TITZE (1969) mit 25 % bei Sommerweizen und von ZEID und KÜHN (1973) mit 32 % bei Blättern der Karottenpflanzen gefunden wurde.

Mit dem Zuckergehalt der Pflanzen im Verlauf des Wachstums haben sich bereits zahlreiche Untersuchungen beschäftigt. Für die wasserlöslichen KH fanden EL GHAMRAWY (1969) bei Ackerbohnen und CROSSMANN (1957) sowie STEGER et al. (1961) bei Mais eine Zunahme bis zur Blüte und anschließende Abnahme bis zur Reife. Diese Abnahme wurde auf die verstärkte Bildung von Stärke nach der Blüte zurückgeführt. Die Bestimmung der hydrolysierbaren KH, bei der die Stärke miterfaßt wird, muß naturgemäß zu anderen Ergebnissen führen.

Wie dargelegt, erfolgt die Zunahme des KH-Gehaltes in der Ackerbohnenpflanze nicht gleichförmig. Verschiedene Faktoren, wie Temperatur, Wasser- und Nährstoffversorgung, aber auch unterschiedlicher zeitlicher Bedarf an KH für die Synthese anderer Stoffgruppen, können zu Abweichungen von einem idealen Kurvenverlauf führen.

hydrolys. Kohlenh.  
(% i.d. T.S.)



Abb. 8: Gehalt von Ackerbohnenpflanzen (Ganze Pflanze, Blätter, Stengel, Hülsein bzw. Samen) an hydrolysierbaren Kohlenhydraten (% d.Tr.S.) im Verlauf der Vegetationsperiode

So zeigten BROWN und BLAZER (1965) bei Dactylis glomerata und Festuca arundinaceae die Bedeutung der Stickstoffernährung für den KH-Gehalt der Pflanze in der vegetativen Phase auf: Das durch eine gute N-Versorgung hervorgerufene schnelle Wachstum war mit einem Absinken des KH-Gehaltes verbunden. Umgekehrt führten ungünstige ökologische Bedingungen, wie niedrige Temperatur oder unzureichende Wasserversorgung, zu einer Drosselung des Wachstums und gleichzeitig zu einer Ansammlung von Reservekohlenhydraten.

Bei den vorliegenden Untersuchungen dürfte das Absinken des KH-Gehaltes zwischen dem 19. und 26. Wachstumstag in Zusammenhang stehen mit dem plötzlichen starken Temperaturanstieg in diesem Zeitraum von 2,7 auf 10,8°C und der daraus resultierenden verstärkten Atmung. Ein ähnlicher Einfluß der Temperatur wurde von ZEID und KÜHN (1973) bei Daucus carota vermutet und ebenfalls von SULLIVAN und SPRAGUE (1949) bei Lolium perenne. Zweifellos spielt es eine Rolle, daß in dieser frühen Entwicklungsphase mit noch kleiner Blatt- bzw. Assimilationsfläche ein plötzlich vergrößerter Energiebedarf nur aus dem Vorrat an KH gedeckt werden kann.

Die Pflanze erhält die zum Stoffwechsel erforderliche Energie aus dem Licht über die Photosynthese. In welchem Umfang diese Energie gespeichert wird, hängt von verschiedenen physiologischen und ökologischen Faktoren ab. Das Gleichgewicht zwischen zugeführter und verbrauchter Energie wird sich in Abhängigkeit von den jeweiligen Wachstumsbedingungen ändern. Ein großer Teil wird für Zellteilung und -wachstum benötigt. Wenn aber die Pflanze mehr Energie gewinnt, als für Zellvermehrung, Zellwachstum und andere Wachstumsvorgänge verbraucht wird, speichert sie diese vorwiegend in Form von KH; bei Gräsern und Leguminosen geschieht dies in der warmen Jahreszeit vor allem in Form von Stärke (RAYNOLDS und SMITH, 1962; SMITH und PAULSEN, 1964).

SULLIVAN und SPRAGUE (1949, 1953) beobachteten eine starke Abnahme der Reservekohlenhydrate nach Blattfall.

Die Gehaltskurve für KH bei der Gesamtpflanze verläuft im Prinzip gegenteilig wie die für Reinprotein. Das trifft auch für die Kurven von Blättern und Stengeln zu. Besonders auffallend ist der niedrige KH-Gehalt der Blätter im Vergleich zu den Stengeln. ZEID und KÜHN (1973) fanden ebenfalls bei Daucus carota niedrige KH-Gehalte in den Blättern. Sie erklären das mit der dauernden Abwanderung der KH in die Wurzeln. Bei der Ackerbohne dient offenbar der Stengel als vorübergehendes Speicherorgan für die KH. Sein KH-Gehalt übersteigt den der Blätter während der ganzen Vegetationsperiode, zeitweise um mehr als 100 %.

Im Einzelnen zeigen die Blätter bei der ersten Untersuchung am 50. Tag einen KH-Gehalt von 19 %. In einer kurzen Periode ansteigender Temperaturen sinkt er auf 13,6 % ab. Danach folgt ein langsamer Anstieg auf 23 % am 103. Tag. Die vollentwickelten Blätter zeigen damit ein besseres Speicherungsvermögen für KH als die jungen. Zu Ende des Wachstums erfolgt eine Abnahme auf 18,6 %.

Demgegenüber weisen die Stengel bei der ersten Untersuchung bereits einen KH-Gehalt von 36 % auf, einige Tage später sogar 39 %. Bis zum 75. Tag sinkt der Gehalt auf 30 % ab, steigt dann, bei Beginn der Hülse- und Samenausbildung, bis zum 96. Tag auf 41 % an. Dieser hohe Gehalt hält etwa eine Woche an, ehe er zum Schluß wieder absinkt.

Die Abnahme des KH-Gehaltes in Blättern und Stengeln vom 103. Tag an geht parallel mit einer sprunghaft ansteigenden Zunahme des KH-Gehaltes in den Samen.

In Zusammenhang mit den relativ niedrigen KH-Gehalten in den Blättern sind Untersuchungen von ARNOFF (1955) zu erwähnen, die sich mit der Umlagerung von Zuckern bei Sojabohnen beschäftigt haben. Es geht daraus hervor, daß organische C-Verbindungen, die bei der Photosynthese gebildet werden, wenig oder gar nicht innerhalb eines Blattes oder von einem Blatt zum anderen transportiert werden. Vielmehr fand bei der jungen Pflanze die Hauptbewegung von assimiliertem  $C^{14}$  zu den Vegetationskegeln statt. BELIKOVE (1955 a und b; 1957) untersuchte ebenfalls die Transportwege der bei der Photosynthese gebildeten KH. Er fand, daß in der Periode der Hülsenbildung die Photosyntheseprodukte ( $C^{14}$ ) eines bestimmten Blattes vorwiegend zu den Hülsen in der Achsel dieses Blattes wandern. Wenn die Hülsen entfernt wurden, stieg die Radioaktivität der Hülsen in den Achseln tiefer angesetzter Blätter auf das 10- bis 20-fache an. Es fand aber keine nennenswerte Verlagerung von  $C^{14}$  in die entsprechenden Blätter statt. Auf die Bedeutung der Zucker in den vegetativen Teilen der Pflanze für den Fruchtansatz wiesen LANE und HALL (1952) hin. Sie fanden nach einer Behandlung von Tomatenpflanzen mit Sucrose einen verminderten Blütenabfall und einen verstärkten Fruchtansatz.

Die Abnahme des KH-Gehaltes in Blättern und Stengeln zu Ende der Vegetationsperiode ist auf eine Verlagerung in Hülsen bzw. Samen zurückzuführen. Eine verstärkte Atmungsaktivität in diesem Zeitraum auf Grund hoher Temperaturen (bis zu  $22^{\circ}C$ ) hat zweifellos ebenfalls zum Absinken des Gehaltes beigetragen.

In den jungen Hülsen steigt vor der Trennung in Samen und Spreu innerhalb von 11 Tagen der KH-Gehalt von 19 auf 30 % an. Das beweist eine starke Einwanderung von KH innerhalb kurzer Zeit.

Samen weisen bei der ersten Isolierung am 92. Tag einen KH-Gehalt von 22 % auf. Bis zum 117. Tag erfolgt ein starker Anstieg auf 64 %. Der Endwert am 120. Tag beträgt 61 %. Solch hohe KH-Gehalte werden auch von MAYR (1969) für die Samen verschiedener Leguminosen angegeben: Ackerbohnen 68 % und Erbsen 53 %, für Sojabohnen aber nur 18,5-35,5 %. Eine kontinuierliche Zunahme des Gehaltes von reduzierenden Zuckern und Saccharose in den Samen von Ackerbohnen wurde ebenfalls von EL GHAMRAWY (1969) festgestellt.

KH-Menge je Pflanze: Die KH-Menge je Pflanze (Abb. 9 und Tab. 8) entspricht im Verlauf der Vegetationsperiode einer S-förmigen Wachstumskurve mit besonders steilem Anstieg vom 85. Tag, dem Beginn der Samenbildung, bis zum 117. Tag. Die Kurve ähnelt sehr derjenigen für die Entwicklung der Trockenmasse. Der Maximalwert beträgt mehr als 10 g/Pflanze.

Bei Blättern und Stengeln dauert die kontinuierliche Zunahme nur bis zum 100. Tag, danach fällt bis zum Ende der Vegetationsperiode der KH-Gehalt ab. Der Maximalwert der Blätter beträgt etwa 1,0 g/Pflanze und damit nur ein Fünftel des Maximalwertes der Stengel.

Die Abnahme der KH-Menge in Blättern und Stengeln geht parallel mit einer entsprechenden Zunahme in den Samen. Diese ist jedoch erheblich größer als die Verluste in Blättern und Stengeln. Das bedeutet, daß neben dem Umlagerungsprozeß noch eine hohe KH-Synthese stattgefunden hat. In diesem Zusammenhang sind Untersuchungen von ALVIN et al. (1942) zu erwähnen. Die Autoren untersuchten die Zusammensetzung von Sojabohnen-Samen während der Reife. Diese Untersuchungen mit vier verschiedenen Sorten und unterschiedlichen Reifestadien ergaben, daß Protein und Fett in den Samen nicht aus KH, die bereits in den Samen vorhanden waren, aufgebaut werden, sondern

hydrolys. Kohlenh.  
( g / Pfl. )

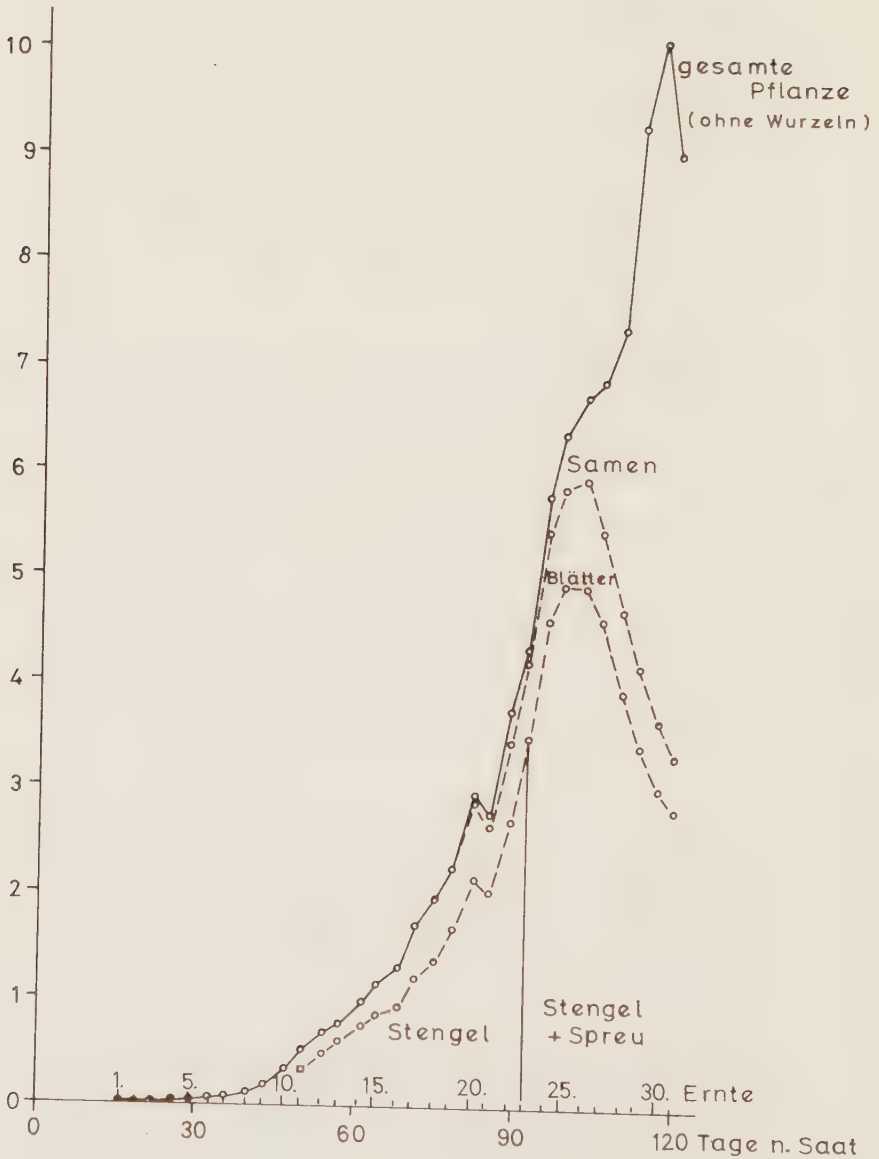


Abb. 9: Menge der hydrolysierbaren Kohlenhydrate ( g/Pfl. )  
in Ackerbohnenpflanzen (Ganze Pflanze, Blätter,  
Stengel, Hülsen bzw. Samen) im Verlauf der Vege-  
tationsperiode

aus Verbindungen, die aus anderen Teilen der Pflanze als Bausteine in die Samen transportiert werden.

Bei der Ernte liegt der Überwiegende Teil der KH in den Samen vor (65 %), während auf Stengel 29,5 % und auf Blätter nur 5,5 % entfallen.

Den Anteil der KH am Aufbau der ganzen Pflanze bzw. der einzelnen Pflanzenteile bei der Ernte zeigt Tabelle c:

| Pflanzen-<br>teil  | Anteil Rein-<br>protein in %<br>an der T.S. | Anteil Kohlen-<br>hydrat in %<br>an der T.S. | Reinprotein/<br>KH.-Ver-<br>hältnis |
|--------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------|
| Gesamt-<br>pflanze | 13,4                                        | 43,9                                         | 0,31                                |
| Blätter            | 11,3                                        | 18,6                                         | 0,61                                |
| Stengel            | 2,6                                         | 32,3                                         | 0,08                                |
| Samen              | 23,2                                        | 60,9                                         | 0,38                                |

Zum Vergleich sind noch einmal die entsprechenden Reinproteinwerte aufgeführt, und es wird das Reinprotein/KH-Verhältnis errechnet. Es ist mit 0,61 in den Blättern am engsten, mit 0,08 in den Stengeln am weitesten. ZEID und KUHN (1973) fanden in ganzen Karottenpflanzen bei der Ernte 45 % KH in der Trockenmasse; das Reinprotein/KH-Verhältnis betrug 0,1.

##### 5. Gehalt der Ackerbohnenpflanze und ihrer Organe an lebendem System und Produkt

Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß der Gehalt einer Pflanze oder eines ihrer Organe an Reinprotein als die Bezugsgröße für den Gehalt an lebendem produzierendem System angesehen werden kann, da Reinprotein den wesentlichsten Bestandteil desselben ausmacht. Bei Ackerbohnenkeimpflanzen, von denen angenommen werden kann, daß sie zu 100 % aus lebendem System bestehen, wurde ein Reinproteingehalt von 29,3 % ermittelt. Das ergibt für Ackerbohnen einen Faktor von 3,4 zur Umrechnung von Reinprotein auf System. Ob und inwieweit dieser Umrechnungsfaktor für alle Organe und alle Wachstumsstadien zutrifft, ist eine Frage, die bereits früher gestellt und diskutiert wurde (LINSER, 1969).

Bereits frühere Untersuchungen haben gezeigt, daß die Mengenrelation System/Produkt in der Pflanze nicht konstant ist und im Verlauf der Entwicklung einer ständigen Änderung unterliegt. Nach LINSER (1967, 1969) ist dieses Verhältnis das Ergebnis zweier miteinander konkurrierender Vorgänge bzw. ihrer Geschwindigkeiten. Überwiegen die Reduplikationsvorgänge des lebenden Systems die Synthese von Stoffen, die zum Produkt gehören, so kann sich keine größere Menge von Produkt in Relation zum System anhäufen; das Verhältnis ist dann größer als 1. Im gegenteiligen Fall, bei eingeschränkter bzw. zum Stillstand gelangender Systemsynthese, aber ungehemmter Nährstoffaufnahme und Produktsynthese, kommt es, da die Pflanze nicht wie das Tier in der Lage ist, Produkt in nennenswertem Maße auszuschcheiden, zu einer Anhäufung desselben und zu einem Quotienten System/Produkt, der zunehmend kleiner wird.

Auch in den vorliegenden Untersuchungen mit Ackerbohnen (Abb. 10 und Tab. 9) verändert sich der Quotient System/Produkt so, wie die theoretischen Überlegungen es er-

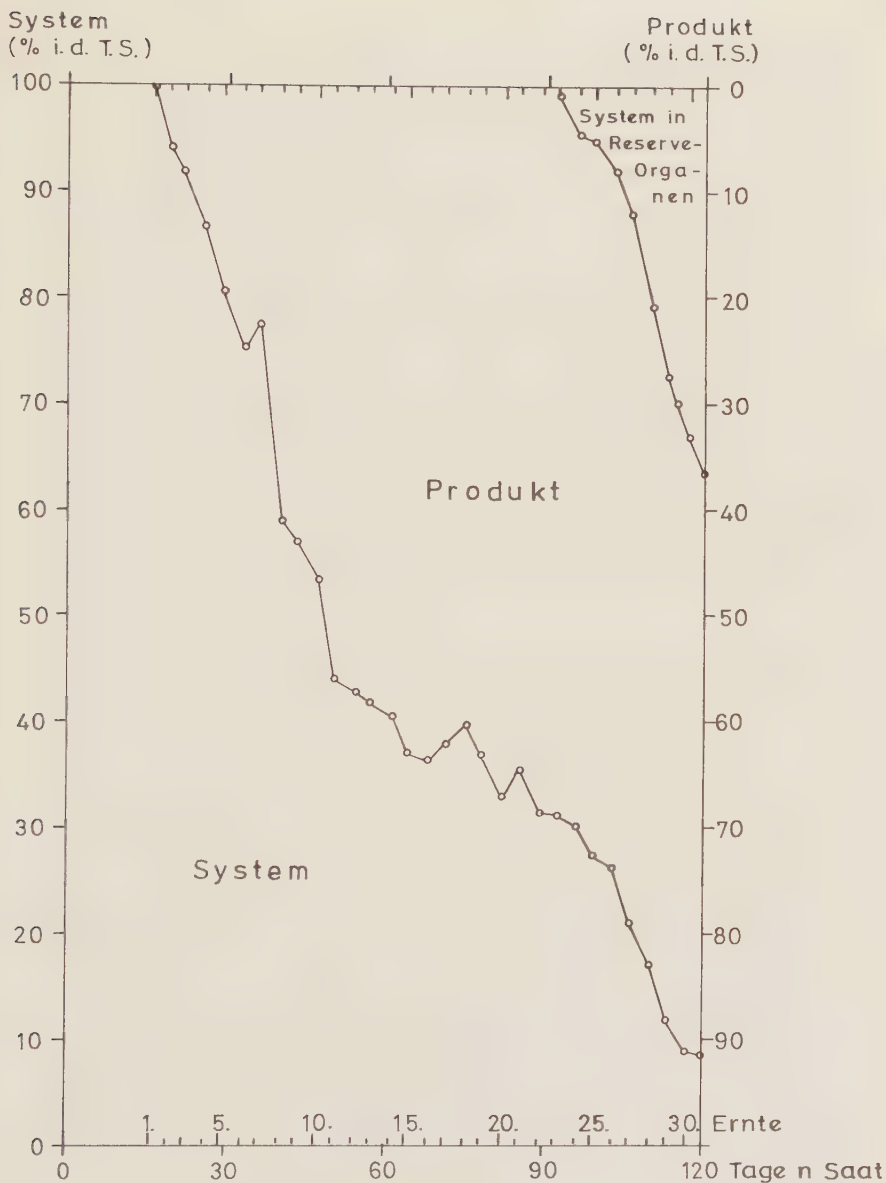


Abb. 10: Anteil (in %) von produzierendem System, von Produkt und von System in den Reserveorganen an der Gesamttrockenmasse von Ackerbohnenpflanzen (ohne Wurzeln) im Verlauf der Vegetationsperiode

warten lassen. Auf eine Periode vorwiegenden Systemwachstums mit hohem Quotienten folgt eine Periode überwiegenden Produktwachstums (LINSER et al., 1968), und zur Zeit der Reife beträgt der Anteil des lebenden produzierenden Systems in den vegetativen Teilen der Pflanze an der Gesamttrockenmasse der Pflanze nur noch 8,5 %. Bereits am 48. Wachstumstag ist der ursprüngliche Gehalt der Trockenmasse an System von 100 % auf 50 % abgesunken, d. h., der Quotient hat den Wert 1. Danach tritt das Produktwachstum immer stärker in den Vordergrund, und insofern ist dieser Zeitpunkt wichtig, als er einen Hinweis auf einen wichtigen Umsteuerungsvorgang im pflanzlichen Stoffwechsel zu geben vermag.

Wie aus Abb. 10 hervorgeht, ist vom 92. Tag an eine weitere Komponente am Aufbau der Pflanze beteiligt, nämlich das System im Reserveorgan, dem Samen. Von der Funktion her erscheint es erforderlich zu sein, das System in den Reserveorganen von demjenigen in den vegetativen Pflanzenteilen zu trennen und gesondert zu betrachten. Seine Menge wird ebenfalls mit Hilfe des Faktors 3,4 aus dem Reinproteingehalt der Samen ermittelt.

Das System im Reserveorgan nimmt eine Sonderstellung ein. Es ist zwar bis zu einem gewissen Grade metabolisch aktiv, und eine seiner wichtigsten Funktionen scheint zu sein, niedermolekulare Bausteine, die in die Reserveorgane transportiert worden sind, dort zu hochmolekularen Reservestoffen aufzubauen. Das berechtigt aber nicht dazu, es in gleichem Sinne als produzierendes System aufzufassen wie dasjenige in den vegetativen Pflanzenteilen. Man wird es deshalb bei der Errechnung der Syntheseleistung des lebenden Systems nur insoweit berücksichtigen können, daß es zwar als synthetisiertes, nicht aber als synthetisierendes System in die Berechnung eingeht. In der neuen Pflanzengeneration wird dann das System der Reserveorgane, das auch als "ruhendes System" bezeichnet werden kann, zum lebenden produzierenden System.

Auch eine Zelle, die sich in voller Synthese für System befindet und keine Anzeichen für die Ansammlung von Produkt erkennen läßt, enthält dennoch Stoffgruppen, die von der Definition her dem Produkt zuzurechnen sind. LINSER (1967) ist der Ansicht, daß bestimmte Mengen dieser Stoffe erst die Funktionsfähigkeit des Systems ermöglichen und deshalb als ihm zugehörig anzusehen sind. Auch in der vorliegenden Arbeit ergab die Untersuchung der Keimpflanzen, für die ein Gehalt an System von 100 % angenommen wird, gleichzeitig einen Gehalt an Kohlenhydraten von 19 %. Ob auch im späteren Verlauf der Entwicklung die Kohlenhydrate mit gleichem Anteil am Aufbau des Systems beteiligt sind, ist nicht mit Sicherheit zu beweisen. Es werden deshalb auch die Kohlenhydrate nicht, wie ZEID und KUHN (1973) es getan haben, teilweise dem System zugeordnet, sondern als voll zum Produkt gehörend angesehen.

In der Abb. 11 und Tab. 10 ist der Gehalt der einzelnen Pflanzenorgane, soweit sie isoliert wurden, an System und Produkt dargestellt. Besonders auffallend ist der grundlegende Unterschied in der Zusammensetzung von Blatt und Stengel. Hier taucht erneut die Frage auf, ob das lebende System in jeder einzelnen Zelle bzw. in jedem einzelnen Organ die gleiche Zusammensetzung aufweist oder ob mit unterschiedlicher Funktion (Blätter vorwiegend Syntheseorgane, Stengel vorwiegend Transportorgane) nicht auch Unterschiede im Aufbau des lebenden Systems einhergehen, die die generelle Verwendung eines einzigen Faktors zu seiner Errechnung aus dem Reinproteingehalt in Frage stellen. Unsere Kenntnisse hierüber sind aber noch nicht genügend, um eine differenzierte Betrachtung des Systems in den einzelnen Organen vornehmen zu können.

Der andauernd hohe Gehalt der Blätter an System (Abb. 11) macht erneut ihre Bedeutung als Hauptsyntheseort der Pflanze deutlich. Er beträgt zeitweise über 70 % und weicht damit nicht sehr stark von der Zusammensetzung

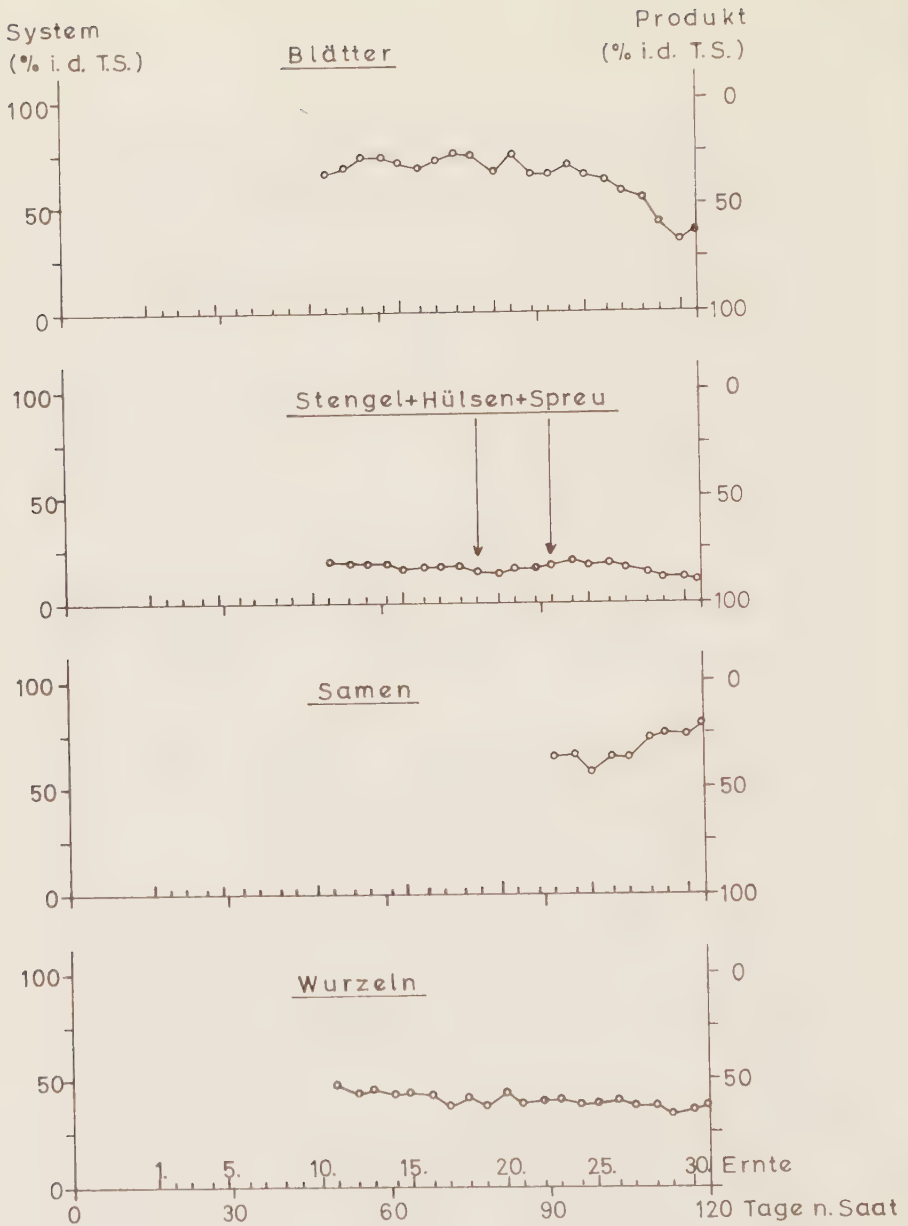


Abb. 11: Anteil (in %) von produzierendem System bzw. von System in den Reserveorganen (Samen) und von Produkt an der Gesamttrockenmasse der einzelnen Organe der Ackerbohnenpflanze nach ihrer Abtrennung

der Keimpflanze ab. Auch mit beginnender Ausbildung der Samen nimmt der hohe Systemgehalt nur langsam ab, so daß erst am 110. Tag der Wert auf 50 % absinkt.

Mit einem anfänglichen Systemgehalt von 19 % weisen demgegenüber die Stengel einen niedrigen Wert auf. Dieser nimmt bis zum Vegetationsende langsam ab, nach kurzem vorübergehendem Anstieg durch die Einbeziehung der leeren Hülsen in die Stengelfraktion. Diese gehören zwar zur Frucht, ihr Reinprotein bzw. ihr System ist aber - analog Grannen und Spelzen bei den Gramineen - der Fraktion nach eindeutig zum lebenden produzierenden System zu rechnen.

Nach der ersten möglichen Abtrennung am 92. Tag bestehen die Samen zu 64,5 % aus System. Dieser Wert bleibt bis zum 106. Tag ziemlich konstant. Danach erfolgt ein Anstieg, so daß die Samen bei der Reife etwa 79 % System enthalten. Dieser Anstieg ist zum Teil auf die fort-dauernde Zufuhr von Systembausteinen aus den vegetativen Teilen zurückzuführen, zum Teil aber auch darauf, daß der ziemlich beträchtliche Nichtproteinanteil des Rohproteins weitgehend in Reinprotein umgewandelt wird.

Die Wurzeln stehen mit einem anfänglichen Gehalt von 48 % System zwischen Blättern und Stengeln. Bei der Reife weisen dagegen Blätter und Wurzeln den gleichen Systemgehalt auf, der etwa dreimal so hoch ist wie der in den Stengeln. Wie stark allerdings die während der gesamten Vegetationsperiode sehr zahlreich ausgebildeten und bei der Untersuchung miterfaßten Wurzelknöllchen den Systemgehalt der Wurzeln beeinflusst haben, kann nicht mit Sicherheit angegeben werden.

## 6. Menge von System und Produkt in der Ackerbohnenpflanze

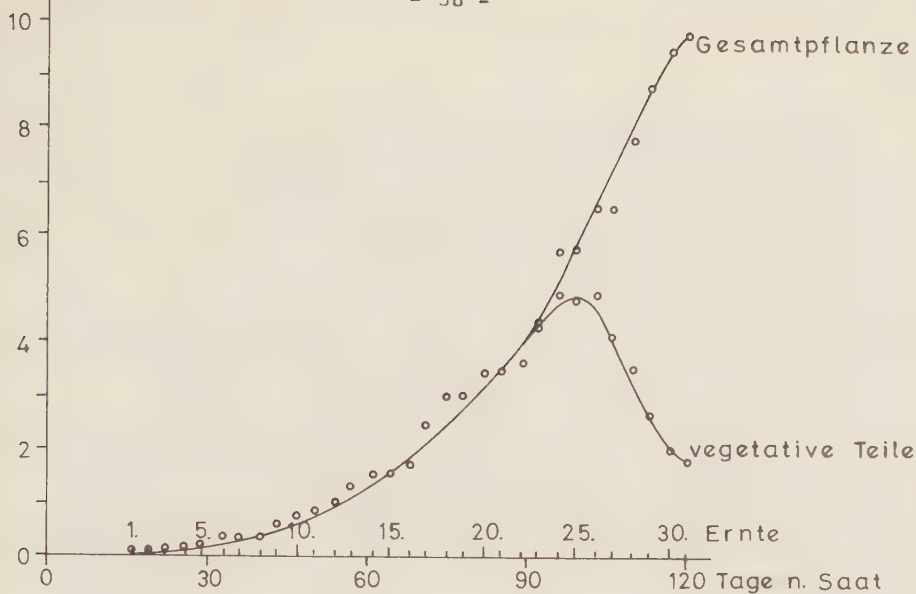
Das lebende System stellt die Summe aller Produktionseinrichtungen dar, die einer Pflanze bzw. einer Zelle für ihre stoffwechselchemischen Umsetzungen, Synthesen und den zu ihrer Durchführung nötigen Abbauprozessen zur Verfügung stehen (LINSER, 1967, 1969). Die Systemmenge je Pflanze ist deshalb ein wichtiges Kriterium zur Beurteilung der jeweiligen Produktionskapazität. Sie wird errechnet aus dem Gewicht einer Pflanze oder eines Organes und dem Gehalt an System. Definitionsgemäß wird durch Subtraktion der Systemmenge von der gesamten Trockenmasse die Menge an Produkt erhalten.

Wie aus Abb. 12 und Tab. 11, 12 hervorgeht, steigt die Systemmenge je Ackerbohnenpflanze dem Verlauf einer logarithmischen Kurve folgend bis zum 92. Tag an. Von diesem Zeitpunkt an erfolgt die Auftrennung in lebendes produzierendes System in den vegetativen Pflanzenteilen und in System der Reserveorgane. Während ersteres nur noch bis zum 100. Tag ansteigt und danach bis zur Reife auf weniger als die Hälfte des maximalen Wertes absinkt, nimmt die Menge des Systems in den Samen ("ruhendes System") bis zur Reife unaufhörlich und stark zu. Zum Schluß sind am Gesamtsystem der Pflanze das produzierende System mit 1839 mg/Pfl. und das Reservesystem mit 7971 mg/Pfl. beteiligt. Die Zunahme an Reserveprotein vom 100. Tag an ist stärker als die Abnahme an produzierendem System, so daß, auch bei völliger Überführung von produzierendem in Reservesystem, bis zum Schluß noch eine echte Synthese von System stattgefunden haben muß.

Der Verlauf der Systemmengenkurve für Ackerbohnen unterscheidet sich deutlich vom Kurvenverlauf, wie er früher für Sommerweizen gefunden wurde (LINSER et al., 1968; LACH, 1969; ZAHIRI, 1972). Hier ließ der Kurvenverlauf

g System / Pfl.

- 56 -



g Produkt / Pfl.

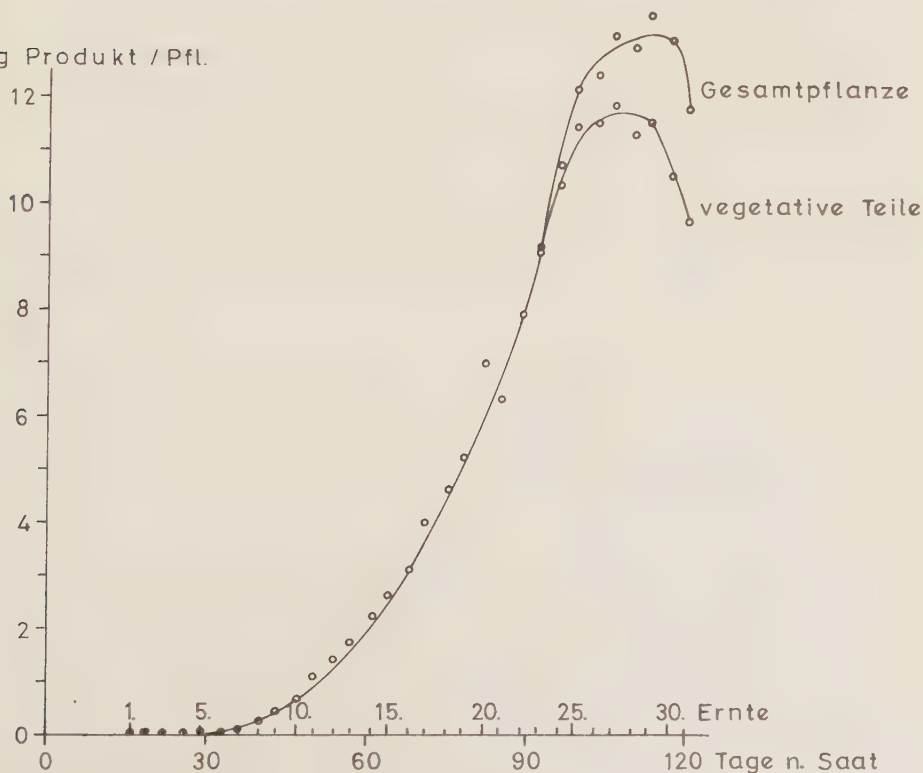


Abb. 12: System- und Produktmengen bei Ackerbohnen (ohne Wurzeln) (g/Pflanze).

für die Menge des lebenden Systems in den vegetativen Pflanzenteilen drei deutliche Abschnitte erkennen, insofern, als auf eine Periode des Systemwachstums eine Periode nahezu konstanter Systemmenge folgte, und danach der Systemabbau in der dritten Periode.

Bei Ackerbohnen dauert die Periode des Systemwachstums wesentlich länger als bei Getreide, während die Periode konstanter Systemmenge nur andeutungsweise vorhanden ist (etwa 5 Tage gegenüber etwa 30 Tagen bei Weizen). Es ist denkbar, daß dieser Kurvenverlauf für Systemmenge für Leguminosen charakteristisch ist und auf der stets optimalen Versorgung der Leguminosenpflanze mit Stickstoff beruht.

Eine nennenswerte Synthese von Produkt beginnt erst am 36. Tag. Auch hier erfolgt bis zum 92. Tag ein steiler logarithmischer Anstieg der Produktmenge in der Gesamtpflanze. Danach erfolgt die Zunahme langsamer, und am 113. Tag wird mit 13,5 g Produkt je Pflanze der Maximalwert erreicht. Bis zum Schluß nimmt die Produktmenge wieder geringfügig ab. Blattfall und Atmungsverluste dürften die Hauptursache sein; die bis zum Versuchsende andauernde Zunahme der Systemmenge deutet aber darauf hin, daß Produkt auch zum Aufbau von System verwendet wurde.

Vom 92. Tag ist auch die Menge des Produkts in vegetativen und generativen Organen getrennt ausgewiesen (Abb. 12). Es wird deutlich, daß bei Versuchsende nur ein geringer Anteil des Gesamtprodukts auf die Reserveorgane entfällt, nämlich 18,6 %.

Das Wachstum einer höheren Pflanze vollzieht sich in den einzelnen Organen nicht gleichmäßig. Neben solchen, die ihr Wachstum bereits eingestellt haben, gibt es solche, die noch in der Entwicklung begriffen sind. Die S-förmige Kurve für das Wachstum der gesamten Pflanze erweist sich somit als aus Einzelkomponenten zusammen-

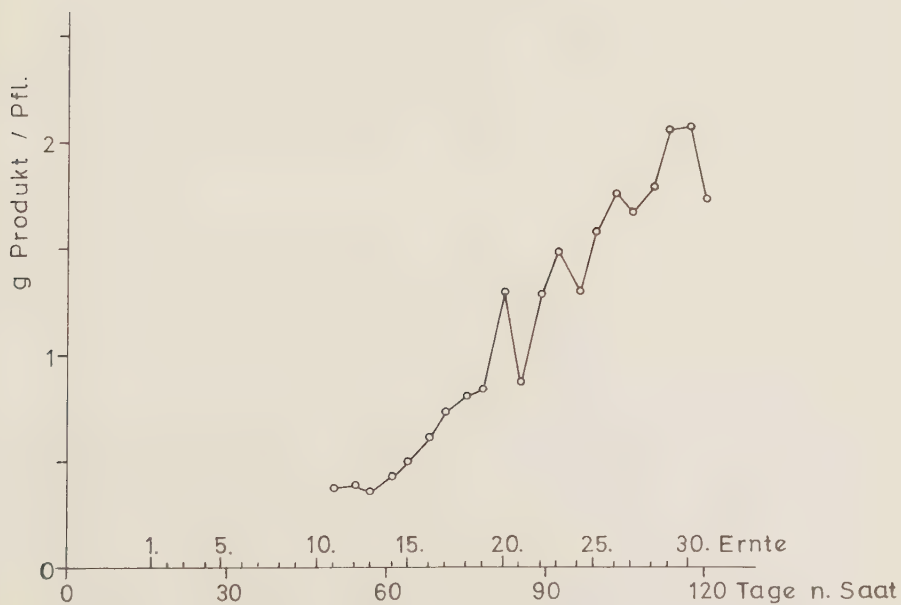
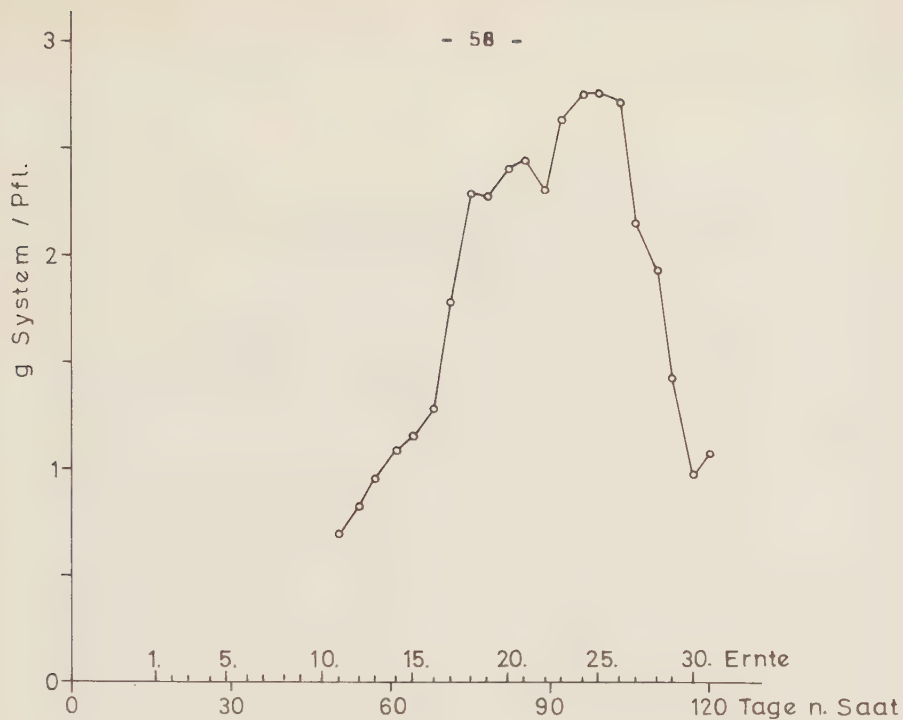
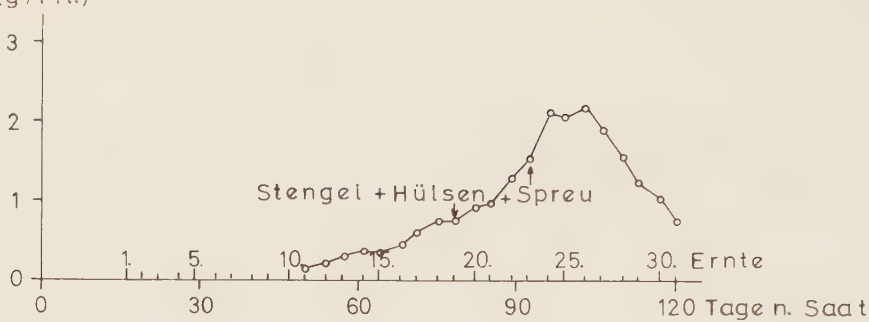


Abb. 13: System und Produktmengen in Blättern von Ackerbohnen (g/Pflanze).

System  
(g/Pfl.)



Produkt  
(g/Pfl.)

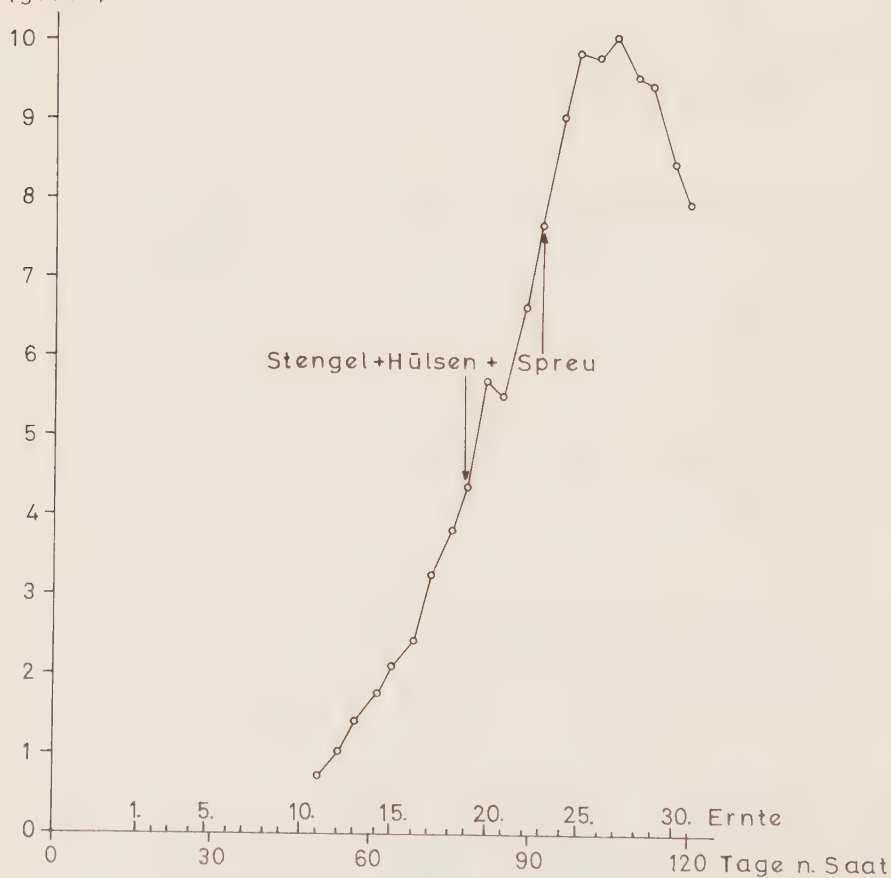


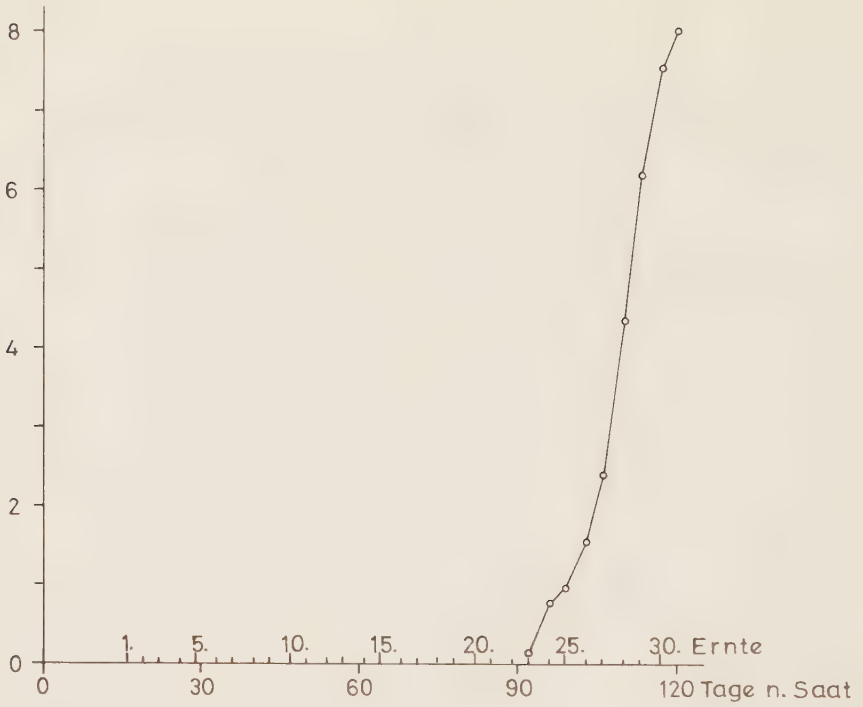
Abb. 14: System- und Produktmengen in Stengeln von Ackerbohnen (g/Pflanze).

gesetzt (LINSER, 1969). Auch die Synthese- und Produktionsverhältnisse der Gesamtpflanze werden durchsichtiger bei entsprechender Berücksichtigung der einzelnen Organe.

Hinsichtlich der System- und Produktmengen bestehen zwischen Blättern und Stengeln ähnlich große Unterschiede wie bei den Gehalten an System und Produkt (Abb. 13, 14 und Tab. 13). Beiden Pflanzenorganen ist gemeinsam der Anstieg der Systemmenge bis etwa zum 100. Tag. Ein steiler Anstieg bei den Stengeln nach dem 90. Tag ist auf die Einbeziehung der Hülse in diese Fraktion zurückzuführen. Mit beginnender Ausbildung der Samen nimmt die Systemmenge in Blättern und Stengeln ab. Während aber in den Blättern die Systemmenge die Produktmenge bis zum 110. Tag übersteigt, überwiegt in den Stengeln die Produkt- die Systemmenge während der gesamten Vegetationsperiode um ein Mehrfaches. Der Maximalwert für die Produktmenge wird in Blättern und Stengeln später erreicht als der für System. Bei Blättern beträgt der Zeitunterschied fast 3 Wochen. Insgesamt kommen die funktionellen Unterschiede zwischen beiden Organen in den unterschiedlichen System- und Produktmengen und den Verhältnissen beider Größen zueinander klar zum Ausdruck.

Die Systemmenge in den Samen (Abb. 15 und Tab. 13) steigt vom 92. Tag, bei der ersten möglichen Isolierung, bis zum letzten Tag der Vegetationsperiode an. Trotz des insgesamt steilen Kurvenverlaufs sind zwei Abschnitte zu erkennen: Eine erste Phase mit relativ langsamer Systemzunahme vom 92. bis zum 106. Tag, und ein zweiter Abschnitt, vom 106. bis zum 120. Tag, mit intensivster Vermehrung.

System  
(g / Pfl.)



Produkt  
(g / Pfl.)

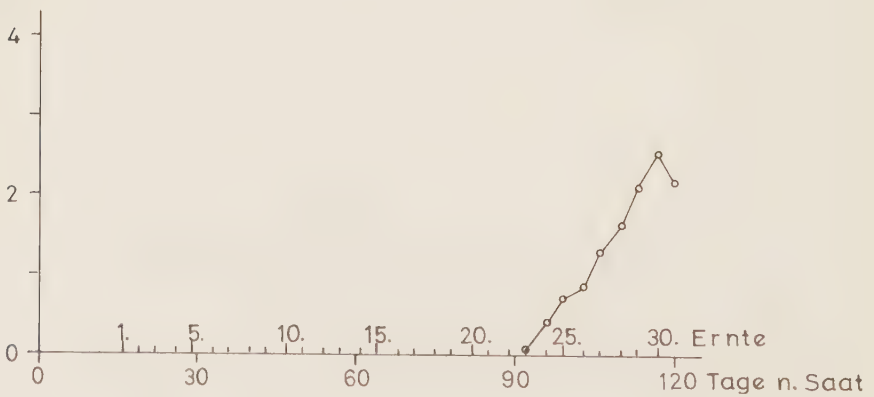
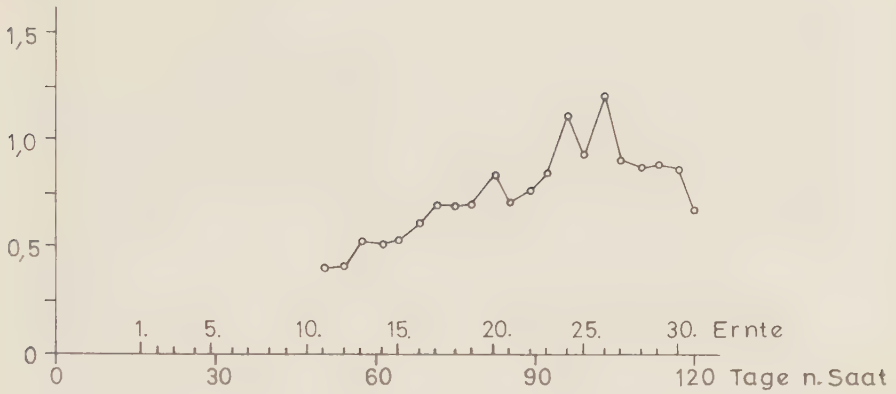


Abb. 15: System- und Produktmengen in Samen von Ackerbohnen (g/Pflanze).

System  
(g/Pfl.)



Produkt  
(g/Pfl.)

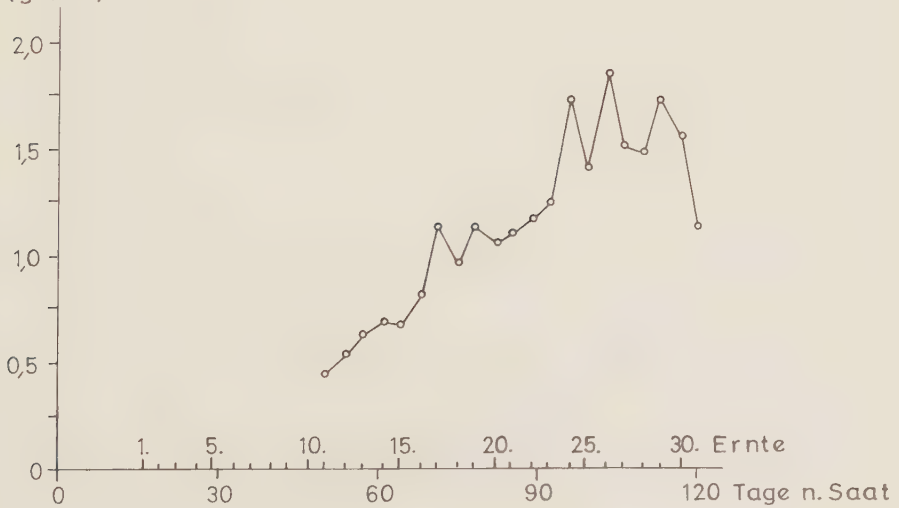


Abb. 16: System- und Produktmengen in Wurzeln von Ackerbohnen (g/Pflanze).

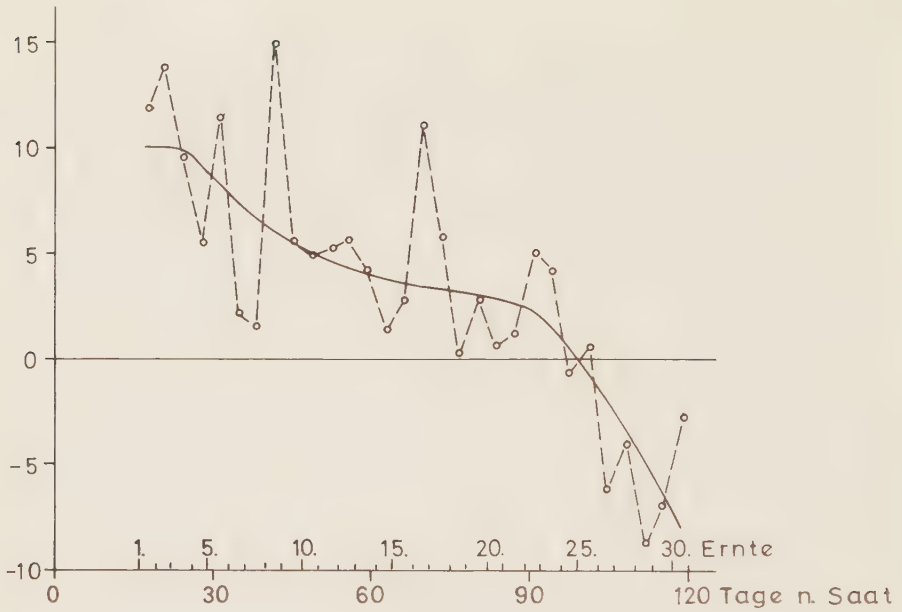
In den Wurzeln nehmen die Kurven für System- und Produktmenge einen sehr ähnlichen Verlauf (Abb. 16 und Tab. 13). Beide Größen nehmen mit gewissen Schwankungen bis zum 103. Tag zu und erreichen hier mit 1209 bzw. 1850 mg/Pflanze ihren Höchstwert. Von hier bis zum Versuchsende erfolgt wiederum eine Abnahme um etwa ein Drittel dieses Wertes. Stets ist in den Wurzeln die Menge an Produkt höher als die an System.

## 7. Syntheseleistung des Systems für System und Produkt

Setzt man die täglichen absoluten Zuwachsraten an System oder Produkt ins Verhältnis zu den jeweils vorhandenen Mengen an produzierendem System, d. h. an System in den vegetativen Pflanzenorganen, so erhält man ein Maß für die Syntheseleistung des Systems für diese beiden großen Stoffgruppen. Es ist dabei üblich (LINSE, 1969), die Zuwachsraten in % der jeweils vorhandenen Systemmenge auszudrücken. Die so gewonnenen Werte erlauben eine Aussage über die Intensität der Syntheseleistung und darüber, in welcher Richtung jeweils das Schergewicht der pflanzlichen Synthese verläuft. Sie machen es fernerhin möglich, den Gesamtprozeß Wachstum in einzelne Abschnitte aufzugliedern. Es muß jedoch stets berücksichtigt werden, daß die Werte nur etwas über die Nettosyntheseleistung aussagen, die als die Differenz aus Bruttosyntheseleistung minus Abbauvorgänge anzusehen ist. Da Abbauvorgänge insbesondere bei der Energiegewinnung durch Atmung auftreten und vor allem die Kohlenhydrate bzw. das Produkt betreffen, dürften Brutto- und Nettosyntheseleistung im Falle des Produkts stärker voneinander abweichen als es beim System der Fall ist, d. h. die Bruttosyntheseleistung für Produkt dürfte wesentlich größer sein als die Nettosyntheseleistung es erkennen läßt.

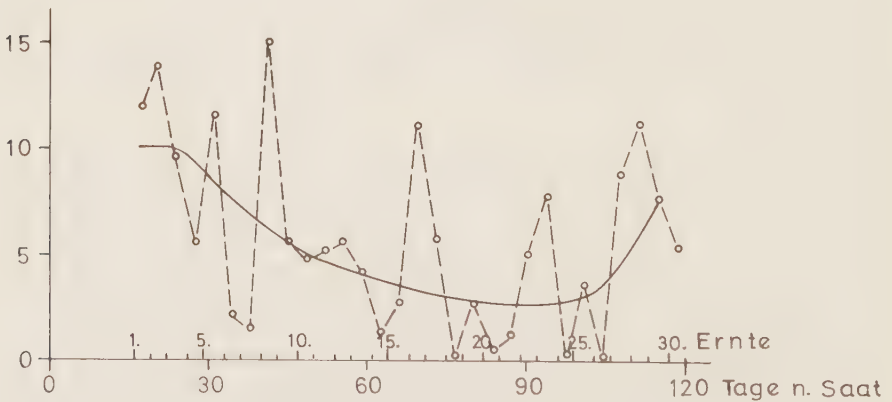
Die Ermittlung der Syntheseleistung des lebenden produzierenden Systems kann unter zwei verschiedenen Aspekten erfolgen: Entweder werden die vegetativen Teile der Pflanze für sich betrachtet, oder die Reserveorgane werden, wie das im Falle des Produkts auch immer geschieht, mitberücksichtigt. Diese unterschiedliche Betrachtungsweise führt dazu, daß die Kurven für die Syntheseleistung des Systems für System vom Zeitpunkt der Entstehung der Reserveorgane einen unterschiedlichen Verlauf nehmen (Abb. 17).

% pro Tag



Tägl. Syntheseleistung des Systems der vegetativen Pflanzenteile für System in denselben Organen (ohne Samen) (in % der jeweiligen Systemmenge in den vegetativen Teilen)

% pro Tag



**Abb. 17:** Tägl. Syntheseleistung des Systems der vegetativen Pflanzenteile für System in der Gesamtpflanze (einschl. Samen) (in % der jeweiligen Systemmenge in den vegetativen Teilen)

Bei der mit Ausbildung der Reserveorgane einsetzenden Abnahme der Systemmenge in den vegetativen Pflanzenorganen und der gleichzeitigen Zunahme in den Reserveorganen handelt es sich offenbar um einen bedeutenden Umlagerungsprozeß. In welcher Form das Reinprotein bzw. das System aus den vegetativen in die generativen Organe transportiert wird, ob in Form der kleinsten Bausteine, der Aminosäuren, oder in Form größermolekularer Verbindungen, ist ungewiß. Sicher aber ist, daß die Bausteine in den vegetativen Organen synthetisiert worden sind und daß deshalb der wesentlichste Teil der Syntheseleistung für das System der Reserveorgane in den vegetativen Pflanzenteilen erfolgt ist. Dem System der Reserveorgane kann allenfalls insofern eine Syntheseleistung zugeschrieben werden, als es aus den zugeführten Bausteinen wieder großmolekulare Proteinmoleküle aufbaut. Es erscheint deshalb berechtigt zu sein, das System der Reserveorgane als Syntheseleistung des Systems der vegetativen Organe aufzufassen.

Die Syntheseleistung des Systems für System (Abb. 17 und Tab. 11, 12) beginnt in den ersten Tagen der Keimpflanzenentwicklung mit maximalen Werten von 10 %. Sie sinkt danach relativ schnell, danach langsamer ab und erreicht am 90. Tag einen Wert von etwa 2,5 %. Am 93. Tag ist die erste Isolierung von Samen möglich, und von hier an nimmt nun die Systemsyntheseleistungskurve einen unterschiedlichen Verlauf, je nachdem, ob das System in den Reserveorganen berücksichtigt wird oder nicht.

Im letzteren Fall erreicht die Syntheseleistung bald einen Wert von 0 % und fällt danach innerhalb von 20 Tagen bis zum Vegetationsende auf einen Wert von -7,5 % ab, d. h., daß in diesem Zeitraum in den vegetativen Pflanzenteilen keine Nettosynthese von System mehr stattfindet, sondern daß Abbauvorgänge die Synthesevorgänge überwiegen.

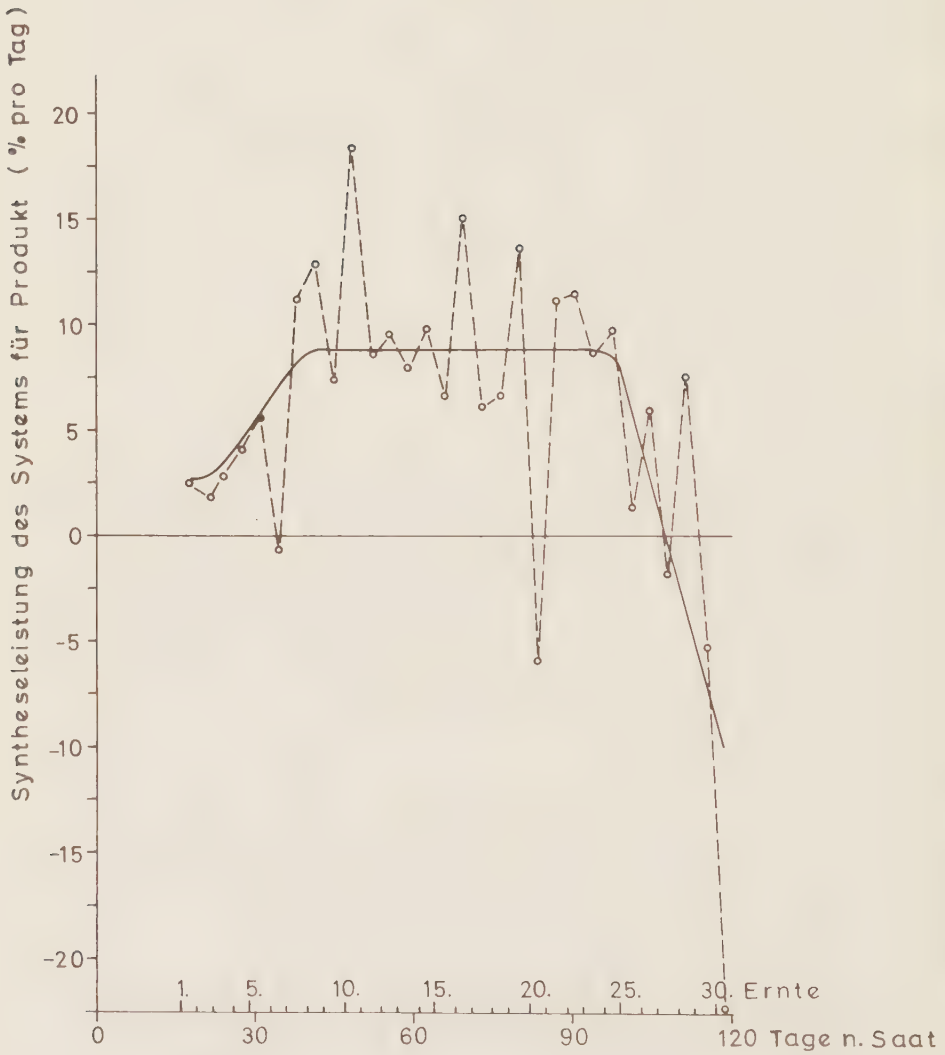


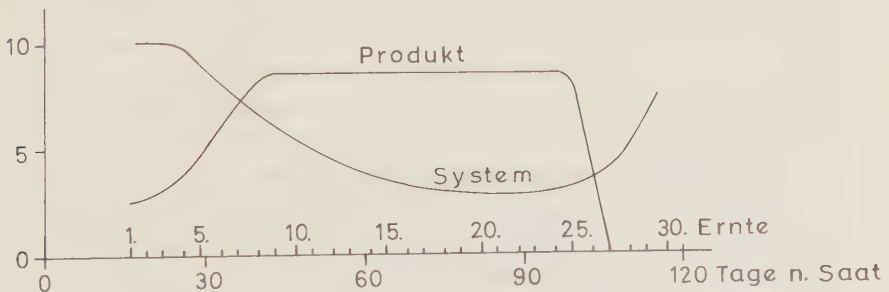
Abb. 18: Syntheseleistung des Systems für Produkt (in der Gesamtpflanze ohne Wurzeln) bei Ackerbohnen (in % der jeweiligen Systemmenge in den vegetativen Pflanzenteilen)

Im anderen Fall dagegen, bei Einbeziehung des Systems der Reserveorgane, erfolgt nach dem 93. Tag ein erneuter Anstieg der Syntheseleistung für System in den vegetativen Organen bis auf einen Wert von 7,5 % je Tag. Dieser relativ hohe Wert kommt zum Teil dadurch zustande, daß die absolute Menge des produzierenden Systems in dieser Zeit ständig abnimmt und damit bereits geringe Mengen von produziertem System hohe Werte für Syntheseleistung ergeben.

Die Kurve für die Syntheseleistung des Systems für Produkt (Abb. 18) nimmt einen ganz anderen Verlauf. Sie beginnt mit einem Wert von 2,5 %, steigt bis zum 40. Tag auf etwa 8,8 % an und bleibt auf diesem Wert bis zum 98. Tag etwa konstant. Danach folgt ein steiler und geradliniger Abfall über 0 % auf minus 7,5 % bei Versuchsende.

Vergleicht man die beiden Kurven für Syntheseleistung des Systems der vegetativen Organe für System und für Produkt, jeweils in der ganzen Pflanze, also einschließlich der Reserveorgane, so erkennt man, daß die Kurven

Syntheseleistung des  
Systems in % pro Tag



Syntheseleistung des Systems der vegetativen Organe für System und Produkt in der Gesamtpflanze.

sich in zwei Punkten schneiden. Der erste Schnittpunkt, der auf höherem Syntheseniveau erfolgt als der zweite, zeigt an, daß am 34. Tag die Umsteuerung des Stoffwechsels von vorwiegender Systemsynthese auf Überwiegende Produktsynthese erfolgt ist. Dieser Zustand dauert bis zum 100. Tag unverändert an, wenn auch mit unterschiedlichen Relationen zwischen System- und Produktsyntheseleistung. Danach nimmt die Syntheseleistung für Produkt plötzlich ab, die für System nimmt wieder zu, und am 107. Tag ist ein Zustand erreicht, wo die Syntheseleistung für System die für Produkt wieder überwiegt.

Zum Schluß der Vegetationsperiode hat also noch einmal, allerdings jetzt bei insgesamt niedrigerem Syntheseleistungsniveau, eine grundlegende Umsteuerung im Stoffwechsel der Ackerbohne stattgefunden, die zweifellos im Hinblick auf eine optimale Zusammensetzung der Samen als Träger einer neuen Pflanzengeneration erfolgt ist.

In den früheren Untersuchungen über die Syntheseleistung des Systems, vor allem bei Weizen, wurde zwar das Produkt in den Reserveorganen als Syntheseprodukt des Systems der vegetativen Pflanzenteile berücksichtigt, nicht aber das System in den Reserveorganen. Dieses wurde zwar ermittelt, aber nicht als Syntheseleistung des produzierenden Systems aufgefaßt. Die jetzige umfassendere Betrachtungsweise, d. h. die Berücksichtigung des Systems der Reserveorgane bei der Syntheseleistung, die erkennen läßt, daß zum Schluß der Vegetationsperiode ein erneuter Anstieg der Syntheseleistung für System einsetzt, könnte neue Wege der Einflußnahme in den pflanzlichen Stoffwechsel eröffnen in einer Richtung, wie sie wahrscheinlich rein empirisch z. B. mit der späteren Stickstoffdüngung bei Getreide bereits besprochen worden sind.

#### 8. Syntheseleistung des Systems für Kohlenhydrate

Die unterschiedliche Intensität der Syntheseleistung des Systems für System und für Produkt im Verlauf der Vegetationsperiode erlaubt es, zu entscheiden, ob ein pflanzlicher Inhaltsstoff, dessen Synthese während des Wachstums der Pflanze verfolgt wird, eher dem System oder dem Produkt zuzurechnen ist, je nachdem, ob seine Syntheseleistungskurve mehr derjenigen für System oder mehr derjenigen für Produkt gleicht (LINSER, 1972).

(S. 146)

Die Abb. 19<sub>k</sub> macht deutlich, daß eine klare Übereinstimmung im zeitlichen Verlauf der Syntheseleistung für Produkt und für Kohlenhydrate besteht, wenn sich auch beide Kurven auf unterschiedlichem Niveau bewegen. Die Angaben über Syntheseleistung für Kohlenhydrate erfolgen nur bis zum 108. Tag, da die analytische Bestimmung bei den letzten Ernten im großenteils abgestorbenen Pflanzmaterial unsicher war. Der sich über einen langen Zeitraum bewegende Maximalwert beträgt bei der Syntheseleistung für Produkt 8,5 %, bei Kohlenhydraten fast im gleichen Zeitabschnitt etwa 4 %. Deshalb müssen die Kohlenhydrate, auch wenn eine gewisse Menge als essentieller Bestandteil zum System gehört, überwiegend als zum Produkt gehörend angesehen werden. Auch die Untersuchungen von TITZE (1969) bestätigen, daß die Kohlenhydrate Bestandteil des Produkts sind. Zum gleichen Ergebnis führen die neuerlichen Arbeiten von ZEID und KÜHN (1973). Diese Autoren fanden, daß die Kohlenhydrate über eine längere Periode etwa 50 % des Produkts ausmachen.

Bei den Untersuchungen der letztgenannten Autoren wird das Reinprotein/Kohlenhydrat-Verhältnis besonders herausgestellt. Sie betrachten besonders den Zeitpunkt, an dem dieses Verhältnis den Wert von 1 unterschreitet, als wichtiges Charakteristikum für die Umsteuerung von System- auf Produktsynthese. Für die Ackerbohne ist dieses Verhältnis in Abb. 20 und Tab. 15 dargestellt. Bis zum 36. Tag ist der Wert größer als 1, am 39. Tag wird der Wert 1 erreicht. Dieser Zeitpunkt fällt etwa mit dem ersten Schnittpunkt der Syntheseleistungskurven für System und für Produkt zusammen, der ebenfalls als wichtiges Kriterium für die Umstellung des pflanzlichen Stoffwechsels von Überwiegender Systemsynthese auf vorwiegende Produktsynthese angesehen wird. Nach dem 39. Tag verschiebt sich das Verhältnis immer mehr zugunsten der Kohlenhydrate, d. h. der Wert wird immer kleiner als 1.

Reinprotein  
Kohlenhydrat

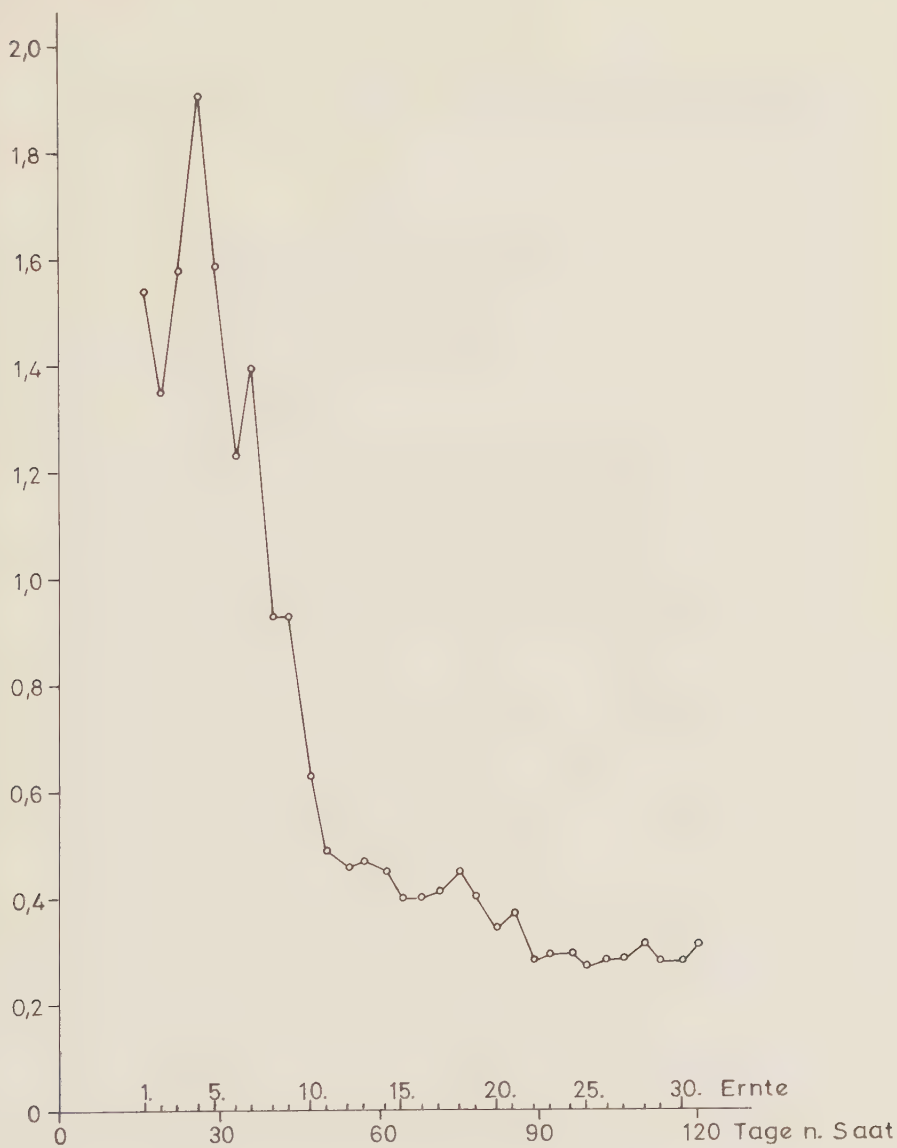


Abb. 20: Reinprotein-Kohlenhydrat-Verhältnis in der Gesamtpflanze (ohne Wurzeln) bei Ackerbohnen

Am 90. Tag erreicht es den Wert 0,3, der bis zum Ende der Vegetationsperiode erhalten bleibt.

Bei der Analyse des System- und Produktwachstums von Ackerbohnen ergeben sich einige auffallende Unterschiede zu Sommerweizen. Sie sind wahrscheinlich genetisch bedingt.

Ein hervorstechender Punkt im Vergleich zu Weizen ist der hohe Reinproteingehalt und damit der hohe Gehalt an System in sämtlichen Organen während des größten Teiles der Wachstumsperiode. Dadurch tritt das System bei Ackerbohnen viel stärker hervor, und das Produkt verliert an Bedeutung.

Die Kurven für die Syntheseleistung des Systems sowohl für System als auch für Produkt sagen zwar etwas aus über die Höhe der Syntheseleistung zu bestimmten Zeitpunkten, aber wenig über die Gesamtsyntheseleistung des produzierenden Systems. Eine solche Aussage wird möglich beim Vergleich der Ausgangsmenge an System in der Keimopflanze mit der gesamten Systemmenge je Pflanze bei der Reife. Wenn bei den eigenen Untersuchungen in der jungen Weizenpflanze am 16. Tag nach der Saat 16 mg System angetroffen werden und bei der Reife je Pflanze 900 mg, so hat sich die anfängliche Systemmenge um das 56-fache vermehrt. Die N-Gabe betrug 0,9 g N/Gefäß. Bei den Untersuchungen von ZAHLEI (1972), wo die N-Gabe 1,5 g N/Gefäß ausmachte, erhöhte sich bei Sommerweizen die Systemmenge der 1. Ernte um das 120-fache bzw. 75-fache. Wenn dagegen 55 mg System bei der jungen Ackerbohnenpflanze bei der Reife 9 800 mg ergeben, so hat die ursprüngliche Systemmenge um das 160-fache zugenommen. Das ist bei gleich langer Wachstumsperiode gleichbedeutend mit einer wesentlich höheren Syntheseleistung des Systems für System bei Ackerbohnen.

Hinsichtlich der Verteilung des Systems bei der Reife auf vegetative und generative Organe besteht hingegen kein nennenswerter Unterschied. Bei Weizen (Tab. 30) entfallen 70,3 % des gesamten Systems auf die generativen Organe,

bei Ackerbohnen (Tab. 12) 81,0 % und dementsprechend 21,7 % bzw. 19.0 % auf die vegetativen Organe.

Die Gesamtsyntheseleistung des Systems für Produkt kann ebenfalls aus den Syntheseleistungskurven nur annähernd beurteilt werden. Zu einer umfassenderen Beurteilung kommt man, wenn man aus den zu sämtlichen Erntezeitpunkten ermittelten Mengen an produzierendem System (in den vegetativen Organen) den Mittelwert bildet und ihn ins Verhältnis setzt zu der im gesamten Verlauf der Wachstumsperiode produzierten Produktmenge bzw. zu der durchschnittlichen täglichen Produktsynthese. Es ergibt sich dann folgende Beziehung:

Tabelle (d): Durchschnittliche Syntheseleistung des Systems für Produkt bei Ackerbohnen und Sommerweizen.

|                   | Durchschn.<br>Systemmenge<br>während der<br>Veg.-Periode<br>(mg) | Insgesamt<br>produzierte<br>Produkt-<br>menge<br>(mg) | Durchschn.<br>tägliche<br>Produkt-<br>synthese<br>(mg) | Durchschn.<br>Synthese-<br>leistung d.<br>Systems in %<br>f. Produkt |
|-------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Sommer-<br>weizen | 407                                                              | 5014                                                  | 42                                                     | 10,3                                                                 |
| Acker-<br>bohnen  | 2023                                                             | 13350                                                 | 111                                                    | 5,5                                                                  |

Aus dieser zwar sehr vereinfachenden Berechnung wird dennoch deutlich, daß bei Ackerbohnen die Syntheseleistung des Systems für Produkt nur etwa halb so hoch ist wie bei Weizen.

Fast zum gleichen Ergebnis kommt man, wenn man die gesamte Produktmenge zu dem System-Maximalwert der vegetativen Organe in Beziehung setzt.

Man muß zu dem Schluß kommen, daß das produzierende System beider Pflanzen sich wesentlich in der Produktionsrichtung unterscheidet. Bei Ackerbohnen steht die Synthese von System, die Reduplikation, im Vordergrund, bei Weizen die Synthese von Produkt. Wir müssen annehmen, daß dieses unterschiedliche Verhalten genetisch bedingt ist, und daß es nur in begrenztem Umfang durch äußere Wachstumsfaktoren, wie veränderte Ernährungsbedingungen möglich sein kann, diese genetisch vorgegebene Produktionsrichtung des Systems in andere Bahnen zu lenken.

## II. Versuche mit Weizen und Ülrettich

Der Schwefel ist ein unentbehrlicher Pflanzennährstoff. Er hat bedeutende Funktionen im lebenden System, besonders im Eiweißstoffwechsel. Der Schwefel ähnelt in vieler Hinsicht dem Stickstoff. So werden beide Elemente vorwiegend in der höchsten Oxidationsstufe von der Pflanze aufgenommen. Beide werden dann zur höchsten Reduktionsstufe reduziert und in der Hauptsache in Aminosäuren bzw. Eiweiße eingebaut. Wenn viele Wirkungen des N auf die Aminogruppe zurückgehen, so sind beim S die Sulfhydrylgruppen bzw. deren Derivate die physiologisch wirksamen Gruppen im Stoffwechselgeschehen. Beide Elemente können aber auch in verschiedenen Oxidationsstufen in der Pflanze vorliegen, die den Bereich von  $\text{NH}_3$  bis  $\text{NO}_3$  bzw. von  $\text{SH}$  bis  $\text{SO}_4$  umfassen. Im Gegensatz zum S liegt beim N in der Pflanze nur eine Verschiebung zur reduzierten Form vor, d. h. die Reaktion läuft nur in der Richtung  $\text{NO}_3$  - Amino - N ab; beim S kann dagegen auch die reduzierte organische Form in der Pflanze zu Sulfat oxydiert werden. Diese Neigung S-haltiger Atomgruppen, oxydiert bzw. reduziert zu werden, unterscheidet den S wesentlich von der Aminogruppe und gibt ihm die Fähigkeit, als spezifische Komponente in physiologischen Prozessen zu fungieren (SCHARRER und MENGEL, 1969).

Die Pflanze nimmt den größten Teil ihres S als Sulfat über die Wurzel auf. Daneben ist sie auch befähigt,  $\text{SO}_2$  direkt über das Blatt zu sorbieren. So kann nach FALLER et al. (1970) die höhere Pflanze den von ihr benötigten Schwefel zum großen Teil aus der Luft in Form von  $\text{SO}_2$  über das Sproßsystem aufnehmen und ihre Substanzproduktion

auf dieses Schwefelangebot aus der Luft abstimmen. Die Baumwollpflanze vermag bei normaler S-Versorgung über den Boden etwa 30 % ihres Schwefelbedarfs aus der Atmosphäre zu decken und im Mangelzustand den Anteil sogar auf 50 % zu erhöhen (OLSEN, 1957).

Die Sulfataufnahme über die Wurzel wird durch andere Ionen kaum beeinflusst. Besonders die für die Pflanzenernährung wichtigen Anionen, Nitrat, Phosphat und Chlorid, beeinträchtigen die Sulfataufnahme nicht. Die Aufnahme wird in dem Reaktionsbereich, in dem unsere Kulturpflanzen wachsen können, nur unwesentlich durch den pH-Wert des Bodens beeinflusst (MENDEL, 1968). Das  $\text{SO}_4$ -Ion wird hauptsächlich in der Zellvakuole gespeichert, so daß es mit den von außen einwirkenden Ionen nur sehr begrenzt austauschen kann (MARSCNER und MICHAEL, 1960).

Die Beweglichkeit des S in akropetaler Richtung ist gut. Er strebt von der Wurzel vorwiegend in die jüngeren Blätter und Meristeme. Die Beweglichkeit in basipetaler Richtung ist nur gering (BIDDULPH, 1956; BIDDULPH et al., 1956, 1958; MARSCNER und MICHAEL, 1960).

In der Pflanze kommt der Schwefel in organischer Bindung und in anorganischer Form vor. Zwischen beiden Fraktionen besteht keine feste Relation, vielmehr ist die anorganische Komponente, das Sulfat, als S-Reserve zu betrachten. Mit steigender S-Versorgung nimmt so vornehmlich der Gehalt an anorganischem S, weniger aber der organisch gebundene S zu. Die Pflanze ist also vorerst bestrebt, ihren organischen S-Bedarf zu decken. Der darüber hinaus aufgenommene S wird als Sulfat gespeichert und kann im Bedarfsfalle reduziert und in die organische Substanz eingebaut werden (SAALBACH et al., 1961).

Die Funktionen des Nährstoffs Schwefel in der Pflanze können nach MENDEL (1968) so zusammengefaßt werden:

1. Als SH-Gruppe oder als Derivat dieser Gruppe ( $R-SH$  bzw.  $R_1-S-R_2$ ). Zu dieser Form zählen die S-haltigen Aminosäuren (Cystein, Cystin und Methionin), Peptide und Eiweiße.
2. Als Disulfidgruppe ( $R_1-S-S-R_2$ ); die sulfhydrylhaltigen Verbindungen gehen durch Oxydation vielfach in Disulfidverbindungen über (Redoxsystem des Glutathion, Cystin/Cystein). Eine weitere physiologisch wichtige Disulfidbrücke liegt in der Liponsäure vor.  
Daneben weisen auch Verbindungen vom Typ der Lauchöle die Disulfid-Gruppe auf.  
Die wichtigste Funktion kommt dem S beim Aufbau von Aminosäuren und Proteinen zu. Zahlreiche Enzyme sind durch die SH-Gruppe gekennzeichnet. Diese SH-haltigen Enzyme können Reaktionen durchführen, die man allgemein vorwiegend den Zytochromen und der Zytochromoxydase zuschreibt (YOUNG und CONN, 1956). Andererseits ist das Coenzym A, mit seiner Bedeutung für den Tricarbonsäurezyklus und besonders für den Aufbau und Abbau der Fettsäuren eine S-Verbindung, deren Wirksamkeit nicht in Redoxvorgängen sondern, in der esterartigen Bindung beruht.
3. Als Rhodanid ( $R-N=C=S$ ); zu den S-Verbindungen dieses Typs zählen die Senföle und ihre Derivate.
4. Als heterozyklisch eingebauter S; zu dieser Gruppe zählen das Aneurin (Thiamine oder Vitamin B) und das Biotin (Vitamin H). Aneurin kommt vorwiegend in Getreidekörnern und Leguminosensamen vor. Biotin und Thiamin sind wichtige prosthetische Gruppen.

Nicht allen in Proteinen eingebauten SH-Gruppen kommt eine besondere physiologische Aufgabe zu. Es sind immer nur wenige, durch ihre Stellung im Gesamtproteinkomplex besonders exponierte SH-Gruppen, die zu Redoxprozessen

befähigt sind (BALEY, 1957). Das S-Atom ist also im Stoffwechsel nicht nur ein physiologisch wirksames Atom, sondern hat auch eine Funktion als Bauelement. Cystein und Methionin bzw. ihre in Peptidketten eingebauten Reste sind mengenmäßig die am meisten vorkommenden organischen S-Verbindungen im pflanzlichen Organismus. Nach BERSIN (1950) soll etwa die Hälfte des Eiweißschwefels dem Methionin zugehören. Die SH-Gruppen in der Pflanze sind etwa zu 90 % an Proteine gebunden (PRICE und TAYLOR, 1957). Es ist daher nicht verwunderlich, daß die eiweißreichsten Pflanzenteile auch die höchsten S-Gehalte aufweisen. Blätter sind S-reicher als Stengel (BERSIN, 1950; DELOCH, 1960). Besonders S-haltig sind die Chloroplasten (HANSON et al., 1941).

#### Die S-Mangelerkrankungen

Der S-Mangel der Pflanze ähnelt dem N-Mangel sehr, da in beiden Fällen eine verminderte Eiweißsynthese vorliegt, woraus ein gehemmtes Wachstum und eine ungenügende Ausbildung von Chloroplasten resultiert. S-Mangelpflanzen sind kleine, kümmerliche, aufrechte, starre Pflanzen, die Blätter sind hellgelb mit teils schwachen roten Farbtönen (SCHARRER und MENGEL, 1969).

Im Unterschied zum N-Mangel, der an den älteren Blättern zuerst beginnt, äußert sich der S-Mangel meistens zuerst an den jüngsten Blättern. Dieser Zustand ist aber nur vorübergehend, später greift er auch auf die älteren Blätter über und ist dann dem N-Mangel sehr ähnlich. (LINSE et al., 1964). haben eine einfach zu handhabende Feldmethode entwickelt, mit deren Hilfe es möglich ist, zu unterscheiden, ob es sich im Zweifelsfalle um N- oder S-Mangel handelt. S-Mangelerkrankungen bei den verschiedenen Kulturpflanzen wie z. B. bei Tabak, Tee, Tomaten, Bohnen, Baumwolle und Zuckerrohr werden von zahlreichen

Autoren beschrieben (EATON, 1935; EGGLE, 1953; McMURTY, 1941, 1948).

Untersuchungen anderer Autoren zeigen, daß S-Mangel anatomische sowie zytologische Veränderungen auslöst, so z. B. von LYON und GARCIA (1944) bei Tomaten, sowie UEDIN und STRUCKMEYER (1958) bei Tabak. HEWITT (1963) weist auf Störungen bei der Zellteilung infolge S-Mangels hin.

Schwefel spielt eine wesentliche Rolle bei der Assimilation des Stickstoffes der Luft durch die Knöllchenbakterien der Leguminosenwurzeln und seiner Umwandlung in Protein-N. Nach ANDERSON und SPENCER (1950 a, b) soll Schwefelmangel weniger die N-Fixierung als vielmehr die Umwandlung des assimilierten N in Protein-N beeinträchtigen.

Daß bei ungenügender S-Versorgung der Pflanze besonders der Eiweißstoffwechsel der Pflanze gestört wird, ist aus seiner Funktion als Eiweißbaustein erklärlich. Bei S-Mangel steigt der Gehalt an löslichen N-Verbindungen einschließlich Nitrat an, der Eiweißgehalt der Pflanze nimmt dagegen ab (EATON, 1935, 1941, 1942, 1951; EGGLE, 1953 a, b). Der Protein-S in den Chloroplasten nimmt ebenfalls ab. Nach KYLIN (1953) kann sogar ein Abbau der Chloroplasten durch eine ungenügende S-Versorgung induziert werden. Bei S-Mangel steigt der Gehalt an Gesamtkohlenhydraten (Sucrose und Stärke) an (EATON, 1935, 1941, 1942, 1951).

Die Verschiebung im Verhältnis der N-haltigen Fraktionen kann nicht allein darauf zurückgeführt werden, daß es beim Aufbau bestimmter Proteine an S-haltigen Aminosäuren fehlt, auch die Funktion des S in Enzymsystemen ist mitverantwortlich für die Akkumulation nicht eiweißhaltiger N-Verbindungen (MENDEL, 1968). Die Tatsache, daß man bei S-Mangel eine Anreicherung von solchen Aminosäuren vorfindet, die im normalen Fall überhaupt nicht

oder nur geringfügig vorhanden sind (Arginin), spricht dafür, daß die Eiweißsynthese gehemmt ist (MERTZ et al., 1952, 1956; COLEMAN, 1957). Die Anhäufung löslicher N-Verbindungen kann auch daher rühren, daß es bei ungenügender S-Versorgung zu einem Eiweißabbau kommt (EATON, 1951). Die N-freien Fraktionen der Pflanze werden bei S-Mangel weniger stark beeinflusst.

Es ist verständlich, daß S-Mangelpflanzen einen geringeren S-Gehalt haben als Pflanzen mit ausreichender S-Versorgung. KYLIN (1953) berichtet, daß das N/S-Verhältnis junger Weizenpflanzen bei S-Mangel von etwa 90 auf 460 verschoben wird.

S-Mangel hat größere wirtschaftliche Bedeutung, vor allem auf der südlichen Erdhalbkugel, wo das Fehlen von Großindustrien dazu führt, daß der  $SO_2$ -Gehalt der Atmosphäre und die Schwefelzufuhr zum Boden durch Niederschläge, im Vergleich zur nördlichen Halbkugel, gering ist.

Die vielfältigen Aufgaben, die dem Schwefel im pflanzlichen Stoffwechsel zukommen, lassen vermuten, daß auch System- und Produktwachstum maßgeblich durch Schwefel bestimmt werden. In erster Linie dürfte das Systemwachstum betroffen werden, da Schwefel als wichtiger Baustein unmittelbar am Aufbau des lebenden Systems beteiligt ist. Aber auch der Kohlenhydrat- und Fettstoffwechsel könnte betroffen sein. Von Bedeutung ist der Schwefel auch als Bestandteil sekundärer Pflanzenstoffe in den Kruziferen und Alliumarten. Hier ist die Frage von besonderem Interesse, ob Schwefel bevorzugt beim Aufbau des lebenden Systems verwendet wird und die Synthese der schwefelhaltigen sekundären Pflanzenstoffe, die dem Produkt zuzurechnen sind, erst dann erfolgt, wenn für den Aufbau des Systems kein Schwefel mehr benötigt wird. Zu dieser Frage liegen Untersuchungen von LINSER et al.,

(1969) vor, aus denen hervorgeht, daß bei Kapuzinerkresse und Ülrettich während der Mangelperiode, bei gleichzeitigem Verbrauch der vorhandenen Sulfatreserven, die Senfölsynthese noch in geringem Umfang weiterging.

Der S-Bedarf der einzelnen landwirtschaftlichen Kulturpflanzen ist unterschiedlich. Relativ gering ist er bei den Gramineen; besonders hoch ist er, zurückzuführen auf den Gehalt der Pflanzen an den schwefelhaltigen sekundären Pflanzenstoffen, bei den Kruziferen. Eine Mittelstellung nehmen Knollen- und Wurzelfrüchte sowie Leguminosen ein.

In der vorliegenden Arbeit sollte die Bedeutung des Schwefels für System- und Produktwachstum bei einer weniger und bei einer stark bedürftigen Pflanze untersucht werden.

## a. Weizen

### 1. Verlauf der Ertragsbildung

Der Verlauf der Ertragsbildung bei Sommerweizen (Trockenmasse) in Abhängigkeit von der Schwefelversorgung ist in Abb. 21 und Tab. 17 dargestellt. Es ergibt sich das Bild einer Wachstumskurve, wie sie von früheren Untersuchungen bei Weizen bekannt ist. Die unterschiedliche Schwefelversorgung ändert am Kurvenverlauf nur wenig, wenn auch die Schwefeldüngung während der gesamten Vegetationsperiode eine positive Wirkung auf den Ertrag erkennen läßt. Bei Versuchsende weisen die Pflanzen mit S einen Maximalwert von 5,9 g/Pfl., diejenigen ohne S einen solchen von 5,6 g/Pfl. auf, davon entfallen auf das Korn 2,2 g (+S) und 2,1 g (-S). Für die vegetativen Pflanzenteile werden die Höchstwerte am 92. Tag mit 4,6 g (+S) und 4,4 g (-S) erreicht. Hier ist die Abnahme an Trockenmasse bei den folgenden beiden Ernten als Folge der Umlagerung bestimmter Stoffgruppen aus den vegetativen in die generativen Organe zu erklären, aber auch Blattfall und Atmungsverluste dürften eine Rolle gespielt haben.

Die Wachstumskurven sind von der 8. bis zur 10. Ernte gespalten. Hiermit wird das Ährengewicht deutlich gemacht, bevor die Isolierung des Kornes möglich ist. Das ist von der 11. Ernte an der Fall, von wo die Gesamttrockenmasse in Korn und Stroh + Spreu aufgegliedert ist. Auf die Assimilationsleistung der (grünen) Ähre und ihre Bedeutung für die Trockensubstanzbildung im Korn weisen ASANA et al. (1950, 1955 und 1958) hin.

Die Schwefeldüngung wirkt sich insgesamt nicht sehr stark auf die Ertragsbildung aus, am ehesten noch bei den letzten beiden Ernten.

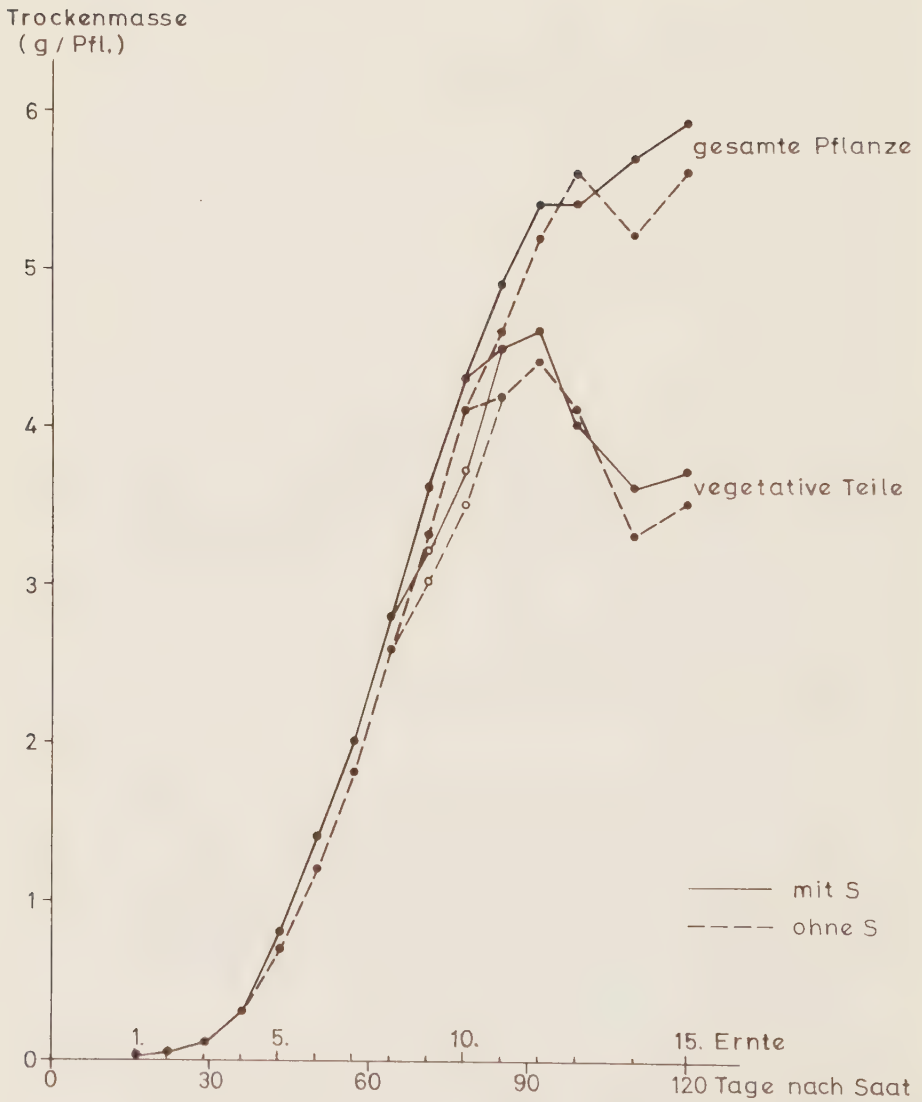


Abb. 21: Trockengewichte (g/Pfl.) bei Sommerweizen im Verlauf der Vegetationsperiode.

## 2. Reinproteingehalt

Auch die Reinproteingehalte im Verlauf der Wachstumsperiode ergeben Kurven, wie sie ähnlich bereits früher von LACH (1969) und ZAHIRI (1972) gefunden wurden (Abb. 22 und Tab. 20). Der hohe Anfangsgehalt nimmt bis zum 57. Tag rasch, danach langsam ab. Die niedrigsten Werte werden bei Versuchsende in den vegetativen Pflanzenteilen gefunden.

Im Gegensatz zur Ertragsbildung zeigen bei den Reinproteingehalten die Pflanzen ohne S zu fast allen Ernteterminen etwas höhere Werte. Besonders deutlich ist das bei Versuchsbeginn und bei Versuchsende.

Diese Ergebnisse stehen in gewissem Gegensatz zu den Befunden anderer Autoren (EATON 1935, 1941, 1942, 1951 sowie ERGLE 1953a, b). Sie stellten fest, daß bei S-Mangel der Gehalt der Pflanzen an löslichen N-Verbindungen (einschließlich Nitrat) ansteigt, der Gehalt an Protein dagegen abnimmt, d. h., daß der Anteil des Reinproteins am Rohprotein geringer wird. Eine solche Tendenz ist bei den vorliegenden Untersuchungen in den vegetativen Organen, beim Vergleich der Tabellen 18 und 20 (Roh- und Reinproteingehalte) nicht zu erkennen. Auch in den Körnern nimmt im Verlauf ihrer Entwicklung zwar der Anteil des Reinproteins am Rohprotein ständig zu, ein sicherer Einfluß der Schwefeldüngung dahingehend, daß dieser Anteil erhöht wird, ist jedoch nur am 99. Tag gegeben, wie nachstehende Tabelle (e) zeigt:

Tab. e: Anteil des Reinproteins am Rohprotein (in %) im Korn von Sommerweizen

| Tage n. d. Saat | 85   | 92   | 99   | 110  | 120  |
|-----------------|------|------|------|------|------|
| Pflanzen mit S  | 64,1 | 78,3 | 89,3 | 92,1 | 94,3 |
| Pflanzen ohne S | 65,9 | 77,4 | 85,2 | 91,5 | 94,6 |

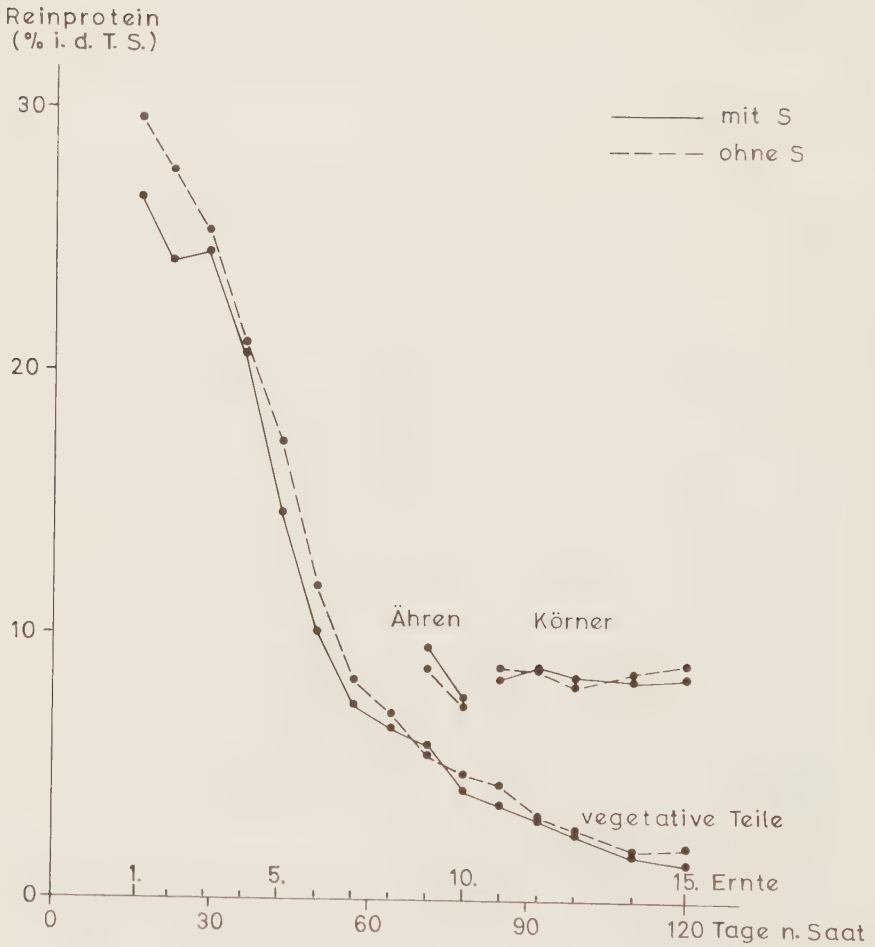


Abb. 22: Reinproteingehalte (% d.Tr.S.) bei Sommerweizen  
im Verlauf der Vegetationsperiode.

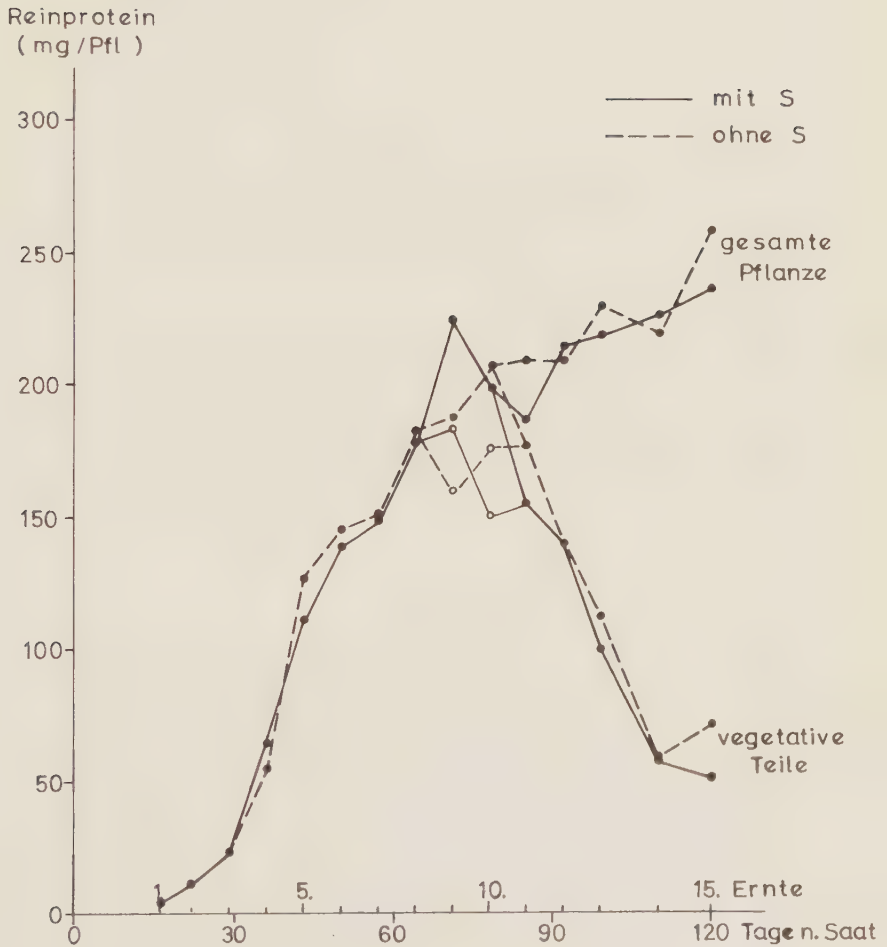


Abb. 23: Reinproteinmengen (mg/Pfl.) bei Sommerweizen im Verlauf der Vegetationsperiode.

### Reinproteinmenge

Die Reinproteinmenge resultiert aus Reinproteingehalt und Trockenmasse (Abb. 23 und Tab. 21). Sie nimmt vom Wachstumsbeginn bis zur Reife ständig zu. Die Maximalwerte betragen bei Versuchsende 235,8 (+S) und 257,9 (-S) mg/Pflanze. Die entsprechenden Endwerte für die vegetativen Teile betragen 51,1 bzw. 70,7 mg/Pflanze, also auch hier die höheren Reinproteinmengen in den Pflanzen ohne S-Düngung. Während der Vegetationsperiode werden aber keine markanten Unterschiede zwischen +S und -S deutlich, abgesehen von einer vorübergehenden Überlegenheit zur Zeit des Ahrenschießens bei den Pflanzen mit Schwefeldüngung.

Die leicht negative Wirkung einer nicht ausreichenden Schwefelversorgung auf den Ertrag und ihre zeitweise positive Wirkung auf den Reinproteingehalt haben dazu geführt, daß die Reinproteinmenge durch die unterschiedliche Schwefelversorgung kaum verändert worden ist.

### 3. Gehalt an Gesamt-Schwefel

Der Gehalt der jungen Weizenpflanzen an Gesamt-Schwefel erfährt zunächst einen Anstieg (Abb. 24 und Tab. 22). Am 29. Tag wird für beide Behandlungen mit 7,5 mg/g der Maximalwert erreicht. Bis zum 71. Tag, dem Beginn der Ährenbildung, sinken die Gehalte bis auf Werte unter 1 mg/g steil ab und steigen danach bis zum Versuchsende wieder allmählich auf 1,6 mg (+S) bzw. 1,3 mg (-S) an.

Die starke Abnahme des S-Gehaltes vom 29. - 71. Tag fällt in die Zeit der intensivsten Ertragsbildung, so daß von einem Verdünnungseffekt gesprochen werden kann. In diesem Zeitraum beeinflußt die Schwefeldüngung den Schwefelgehalt am stärksten. Danach sind die Unterschiede nur noch gering. Zur Zeit der Ährenbildung weisen die

Gesamtschwefel  
(mg/g T.S.)

- 90 -

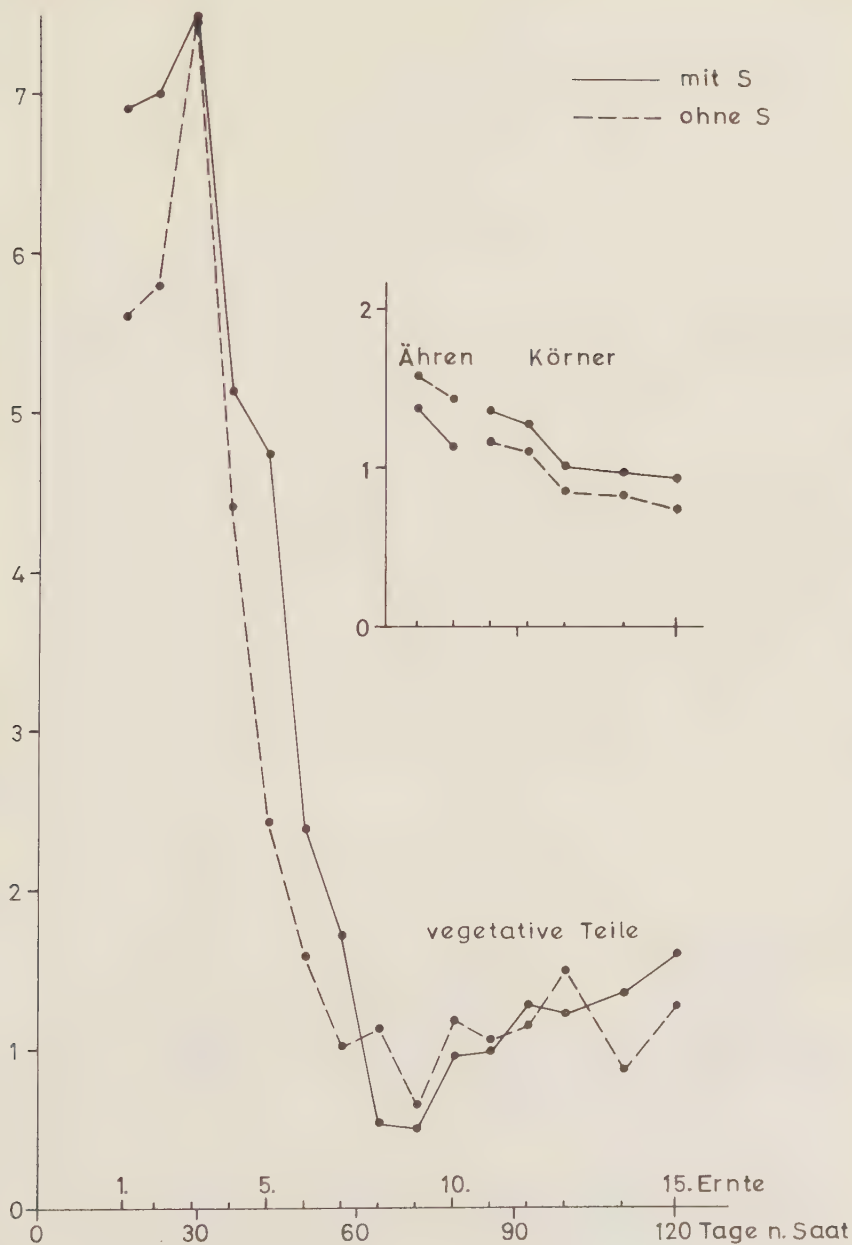


Abb. 24: Gesamtschwefelgehalte (mg/g Tr.S.) bei Sommerweizen im Verlauf der Vegetationsperiode.

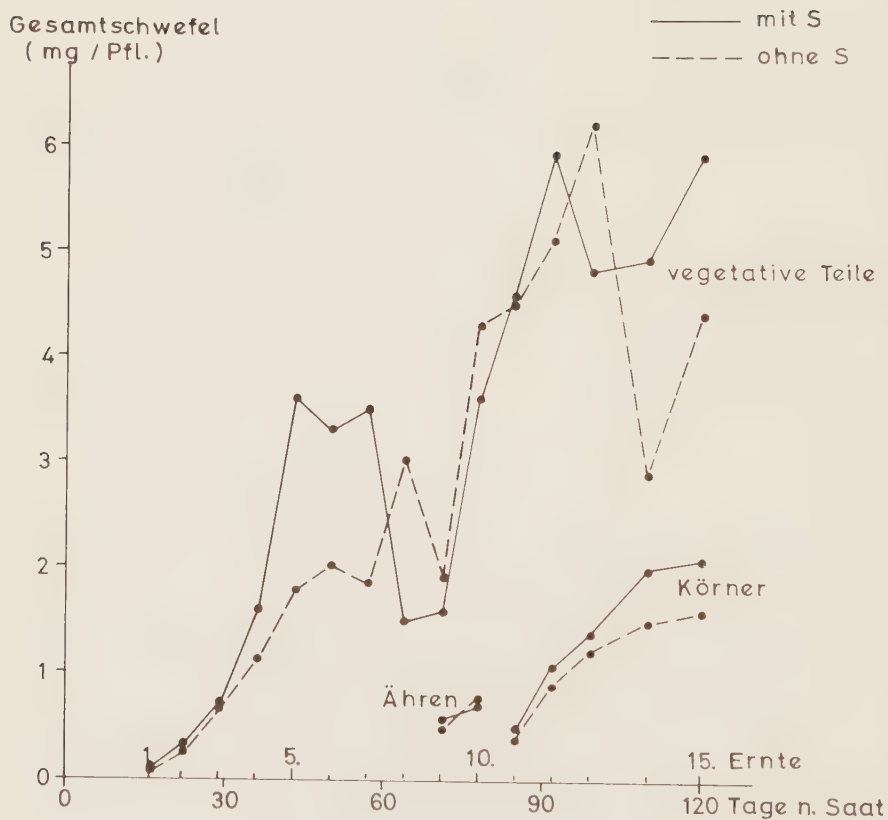


Abb. 25: Gesamtschwefelmengen (mg/Pfl.) bei Sommerweizen im Verlauf der Vegetationsperiode.

Pflanzen ohne S sogar geringfügig höhere Gehalte auf, bei der Reife ist es umgekehrt. Die Körner lassen hingegen während der gesamten Entwicklungszeit eine positive Reaktion auf die Schwefeldüngung erkennen.

#### Menge an Gesamt-Schwefel je Pflanze

Bis etwa zum 95. Tag steigt in den vegetativen Organen die Menge an Gesamt-Schwefel an (Abb. 25 und Tab. 23). Zwischen dem 60. und 70. Tag treten im Kurvenverlauf Unregelmäßigkeiten auf, die nicht ohne weiteres zu erklären sind.

Die Schwefeldüngung wirkt sich insbesondere zwischen dem 30. und 60. Tag aus und ebenfalls bei Versuchsende, vom 105. bis zum 120. Tag. Zwischen diesen beiden Perioden werden die höheren S-Mengen eher bei den Pflanzen ohne S-Düngung angetroffen, so daß zwischen dem 90. und 100. Tag die Maximalwerte in den vegetativen Organen 5,9 mg/Pflanze (+S) und 6,2 mg (-S) betragen. Beim Korn sind, wie bei den S-Gehalten, die höheren S-Mengen während der gesamten Entwicklung bei Schwefeldüngung vorhanden.

#### 4. Gehalt an Sulfat-Schwefel

Der Kurvenverlauf ist bis etwa zum 60. Tag ähnlich wie der für Gesamt-Schwefel (Abb. 26 und Tab. 24). Während letzterer danach aber bis zum Versuchsende wieder ansteigt, sinkt der Gehalt an Sulfat-S auf einen minimalen Wert ab. Das gilt für vegetative Teile und für Korn.

In den vegetativen Organen ist während der gesamten Vegetationsperiode ein den Gehalt an Sulfat-S erhöhender Einfluß der Schwefeldüngung zu erkennen. Das trifft auch

Sulfatschwefel  
(mg / g T.S.)

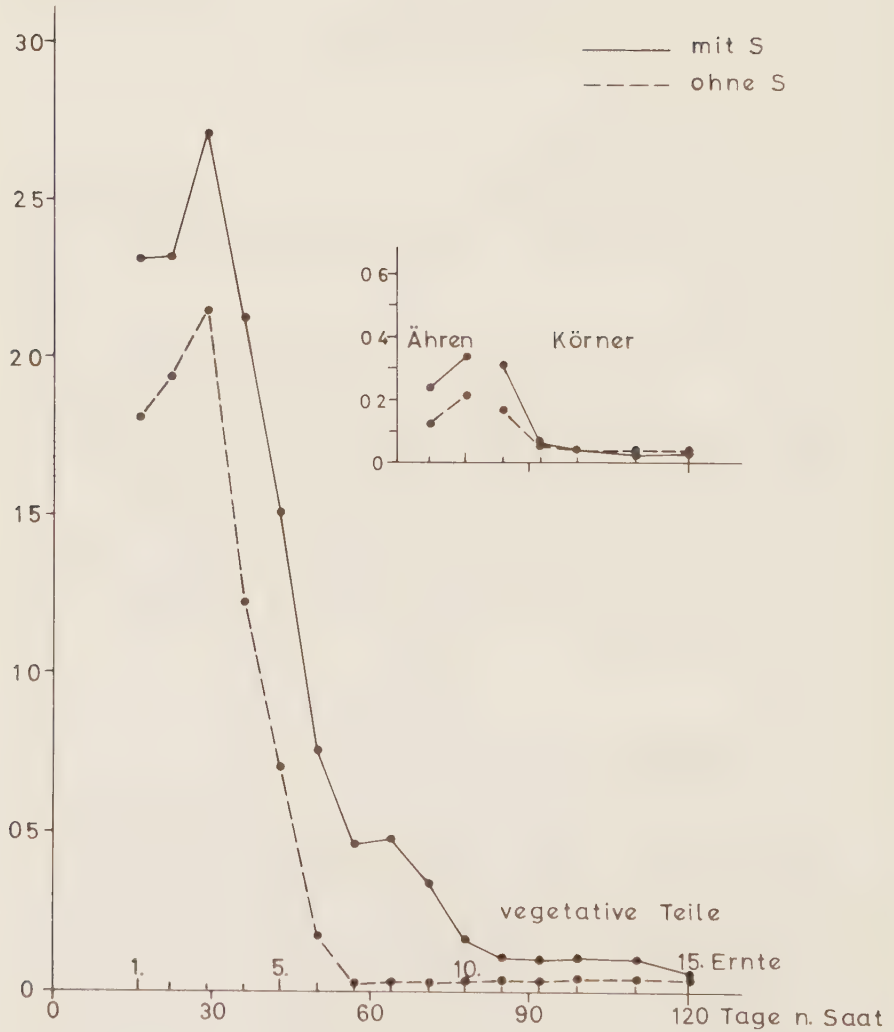


Abb. 26: Sulfatschwefelgehalte (mg  $\text{SO}_4\text{-S/g Tr.S.}$ ) bei Sommerweizen im Verlauf der Vegetationsperiode.

Sulfatschwefel  
(mg / Pfl.)

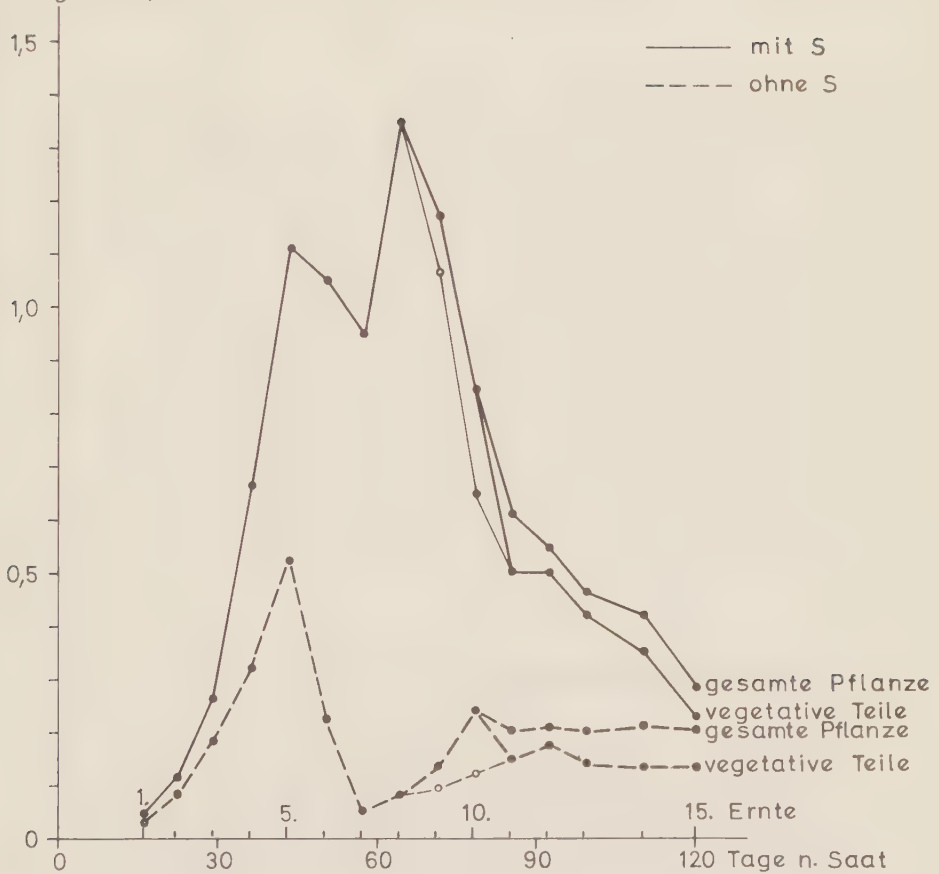


Abb. 27: Sulfatschwefelmengen (mg  $\text{SO}_4\text{-S/Pfl.}$ ) bei Sommerweizen im Verlauf der Vegetationsperiode.

für die Ähren zu und anfänglich auch für die Körner. Bei der Reife sind in vegetativen und generativen Organen die Gehalte an Sulfat-S auf Minimalwerte abgesunken und betragen gleicherweise und unabhängig von der Schwefeldüngung etwa 0,04 mg/g.

#### Menge an Sulfat-Schwefel je Pflanze

Bei ausreichender Schwefelversorgung folgt die Menge des Sulfat-Schwefels je Pflanze einer Optimumkurve, die am 64. Tag mit 1,4 mg ihren Maximalwert erreicht und danach bis zum 120. Tag auf 0,22 mg absinkt. Das Kurvenbild macht deutlich, daß der Sulfatschwefel in Ähren und Korn nur einen geringen Anteil ausmacht. Bei den Pflanzen ohne S-Düngung wird der Maximalwert bereits am 43. Tag erreicht. Die Kurve fällt bis zum 57. Tag auf ihren niedrigsten Wert ab (0,05 mg), steigt danach aber bis zum 85. Tag wieder auf 0,2 mg an. Diese Menge bleibt bis zum Versuchsende praktisch unverändert erhalten. Die Menge des Sulfat-Schwefels in Ähren und Körnern ist bei unterschiedlicher Schwefelversorgung kaum verändert.

#### 5. Gehalt an organisch gebundenem Schwefel

Der Gehalt an organisch gebundenem Schwefel wird rechnerisch ermittelt als Differenz zwischen dem Gehalt an Gesamt-S und Sulfat-S (Abb. 28 und Tab. 26). Die so gewonnenen Werte ergeben eine Kurve, die der für Gesamt-S ähnlich ist: Nach anfänglicher Zunahme bis zum 29. Tag folgt bis zum 60. Tag eine Periode steiler Abnahme und danach wieder ein leichter Anstieg. Der Einfluß der Schwefeldüngung ist nicht einheitlich, und insgesamt bestehen zwischen beiden Düngungsvarianten keine ausgeprägten Unterschiede. Lediglich bei den Körnern wird

organ. Schwefel  
(mg / g T. S.)

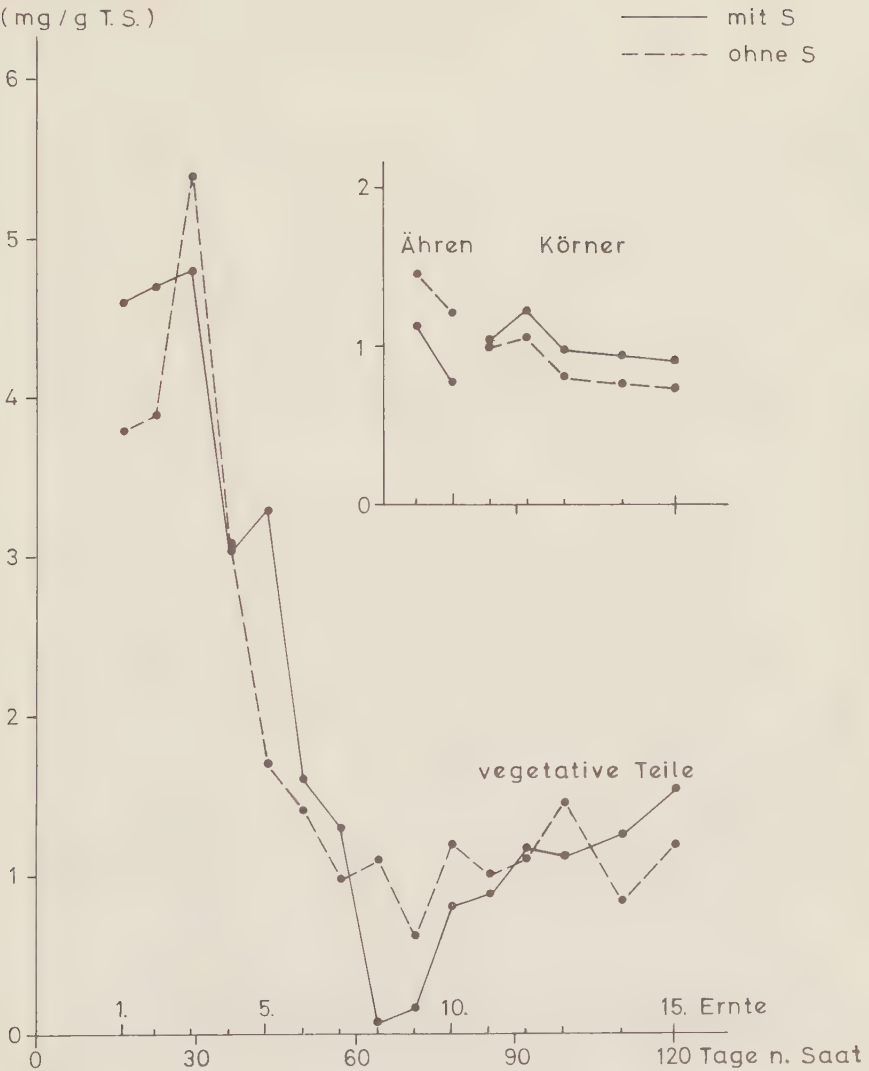


Abb. 28: Gehalte an org. geb. Schwefel (mg/g Tr.S.) bei Sommerweizen im Verlauf der Vegetationsperiode.

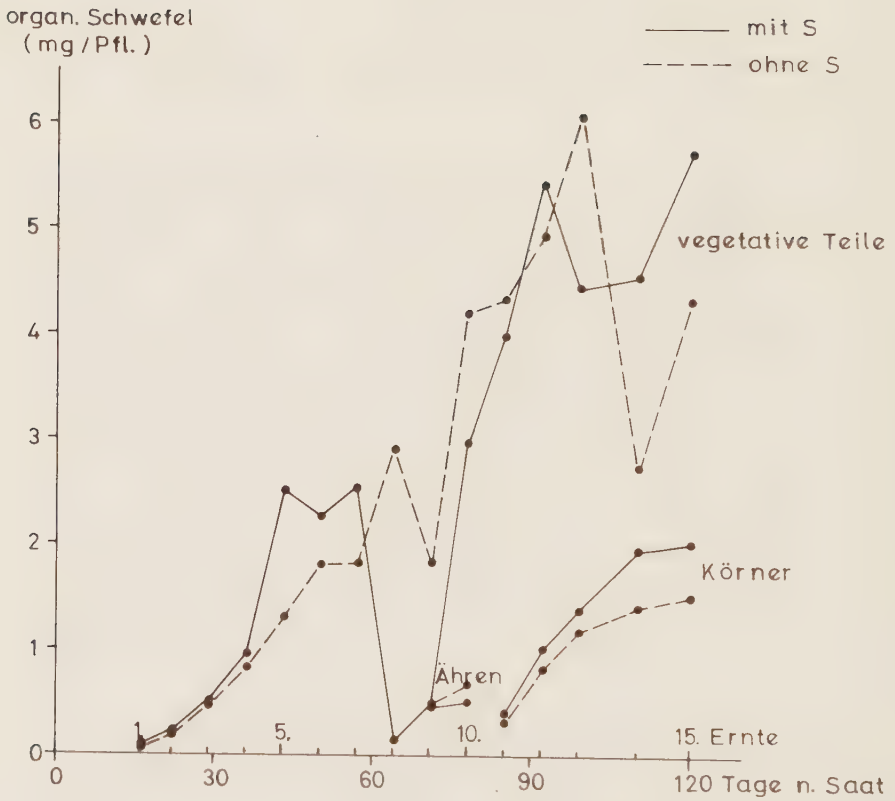


Abb. 29: Mengen von org. geb. Schwefel (mg/Pfl.) bei Sommerweizen im Verlauf der Vegetationsperiode.

durch die S-Düngung während der gesamten Entwicklungsdauer der Gehalt an organisch gebundenem Schwefel erhöht. Bei den Ähren ist das Gegenteil der Fall.

#### Menge des organisch gebundenen Schwefels je Pflanze

Auch hier zeigen die Kurven einen ähnlichen Verlauf, wie bei der Menge des Gesamt-Schwefels (Abb. 29 und Tab. 27). Wiederum treten zwischen dem 60. und 70. Tag, insbesondere bei ausreichender Schwefelversorgung, Unregelmäßigkeiten im Kurvenverlauf auf, für die eine Erklärung nur schwer zu geben ist. Für die vegetativen Organe kann insgesamt kein Einfluß der Schwefeldüngung auf die Menge des organisch gebundenen Schwefels angenommen werden, während die Körner eine deutliche Erhöhung erkennen lassen.

Die Aminosäurezusammensetzung jedes einzelnen Proteins ist genetisch bestimmt. Für den Aufbau der Proteine gilt deshalb auch das Gesetz des Minimums: Der im Minimum vorhandene Baustein bestimmt die Menge des einzelnen Proteins. Das gilt auch für die schwefelhaltigen Aminosäuren. Die im Verlauf des Wachstums der Weizenpflanze ermittelten Reinproteinmengen geben keinen Hinweis dafür, daß in den Pflanzen ohne Schwefeldüngung die zum Aufbau notwendigen schwefelhaltigen Aminosäuren nicht in ausreichender Menge vorhanden gewesen wären. Die Reinproteinmengen sind während der gesamten Vegetationsperiode bei beiden Behandlungen praktisch gleich hoch. Theoretisch müßten demnach bei beiden Behandlungen auch stets gleiche Mengen an organisch gebundenem Schwefel vorhanden sein. Allerdings braucht dieses Verhältnis von organisch gebundenem Schwefel zu Reinprotein nicht dauernd konstant zu sein, es kann sich im Lauf der pflanzlichen Entwicklung ändern und kann auch bei einzelnen Organen unterschiedlich sein.

organ. Schwefel  
(mg / g Reinpr.)

— mit S  
--- ohne S

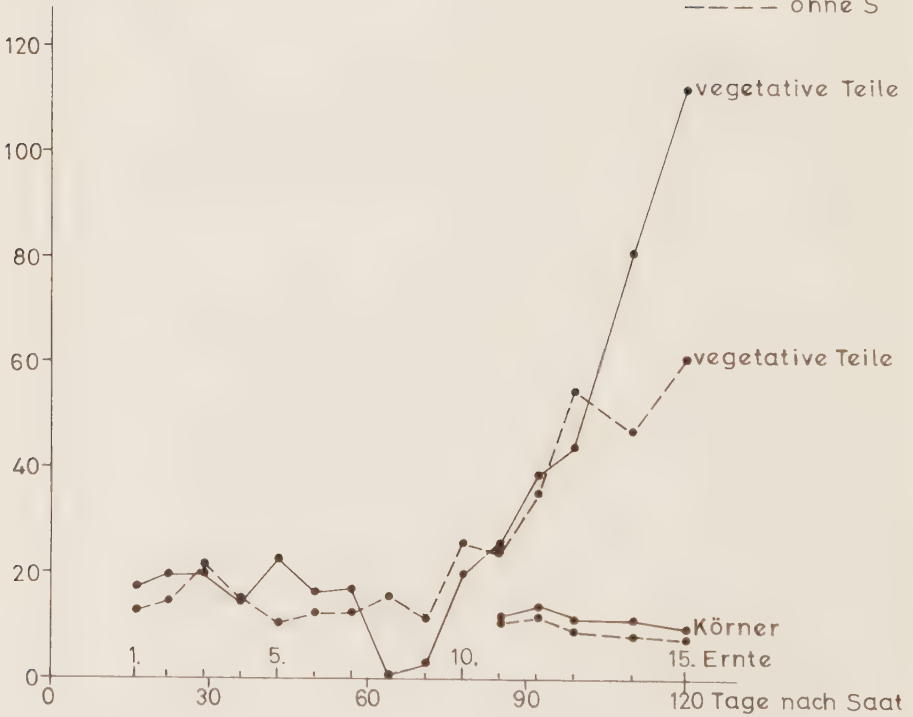


Abb. 30: Verhältnis von org. geb. S/Reinprotein (mg org. geb. S/g Reinprotein) bei Sommerweizen im Verlauf der Vegetationsperiode.

Dieses Verhältnis ist in Abb. 30 dargestellt. Sieht man auch hier wieder bei den mit S gedüngten Pflanzen von den abweichenden Werten am 64. und 71. Tag ab, so besteht unabhängig von der S-Düngung bis etwa zum 70. Tag ein Verhältnis org. S/Reinprotein von 15-20:1000. Das steht in Einklang mit Untersuchungen von DIJKSHOORN et al. (1960). Diese Autoren stellten bei Lolium perenne fest, daß das Verhältnis von Atom S / Atom N (in organischer Bindung) = 0,027 oder etwa 1 : 40 ist. In den vegetativen Organen wird danach das Verhältnis enger, und bei den beiden letzten Ernten wird auch ein deutlicher Einfluß der S-Düngung erkennbar. Bei der Reife beträgt das Verhältnis 111 : 1000 bei den Pflanzen mit, 60 : 1000 bei den Pflanzen ohne S-Düngung.

In den Körnern ändert sich im Verlauf der Entwicklung das Verhältnis relativ wenig. Hier entfallen bei den mit S gedüngten Pflanzen auf 1000 mg Reinprotein anfänglich etwa 13 mg organisch gebundener S, bis zur Reife sinkt der Wert auf etwa 11 mg ab. Bei den Pflanzen ohne S-Düngung liegen die Werte niedriger, sie beginnen mit 11-12 mg und betragen bei der Reife wenig mehr als 8 mg.

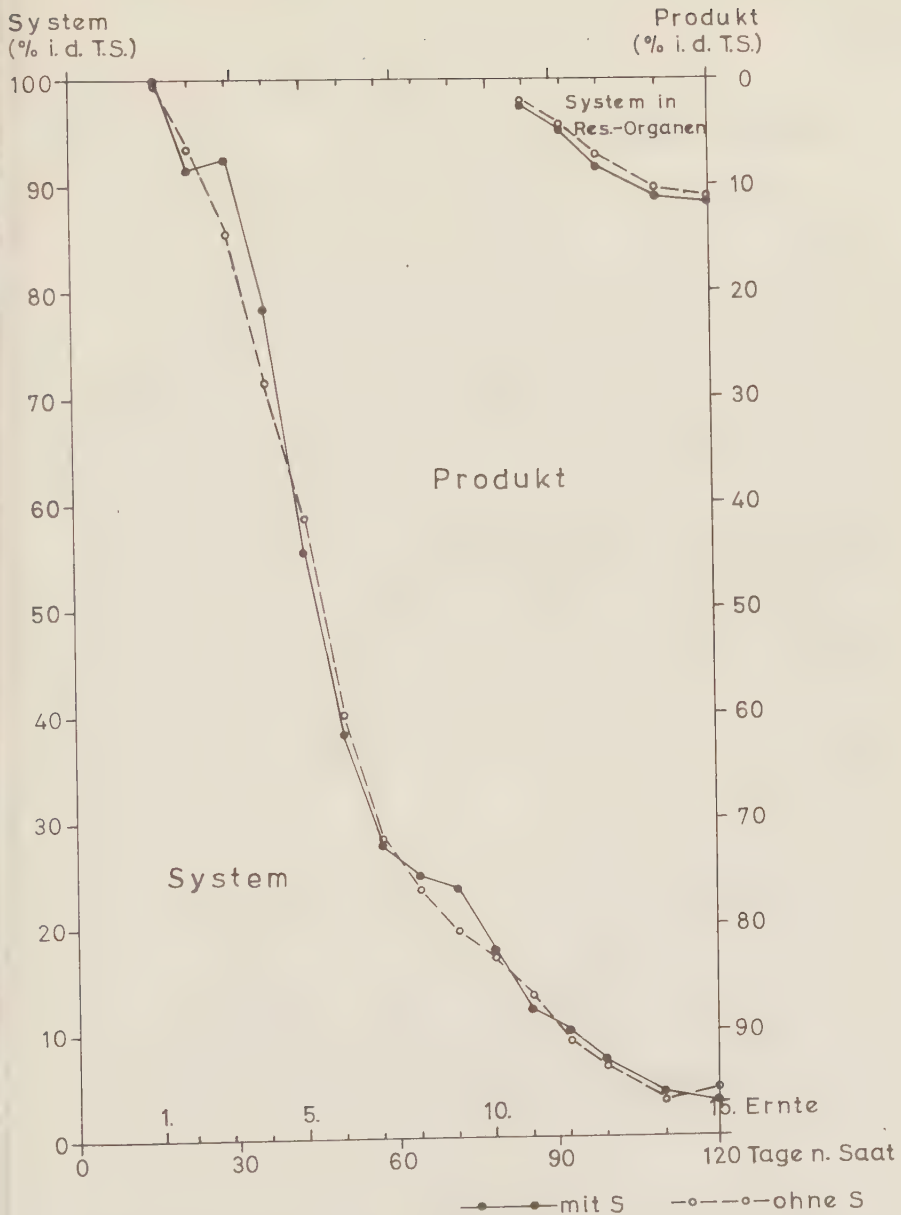
Es scheint demnach so zu sein, daß der essentielle S-Gehalt des Reinproteins in den generativen Organen niedriger ist als in den vegetativen Teilen und daß in letzteren nach Beginn der generativen Wachstumsphase der S-Gehalt des Reinproteins bis zur Reife zunimmt. Das könnte bedingt sein durch die Entstehung von Proteinen mit einem höheren Anteil an organisch gebundenem S in der späten vegetativen Entwicklung. Es wäre aber auch denkbar, daß nach dem Eintritt in das generative Wachstum in den vegetativen Organen die Menge von solchem organisch gebundenem S zunimmt, der nicht Bestandteil des Reinproteins ist. Zum Beispiel wäre eine verstärkte Bildung von Verbindungen möglich, in denen der Schwefel

heterozyklisch gebunden ist. Eine Klärung dieser Frage ist insofern schwierig, als speziell aus reifendem und zum Teil bereits abgestorbenem Pflanzenmaterial eine Isolierung des darin enthaltenen Reinproteins und die Bestimmung des darin gebundenen Schwefels praktisch unmöglich ist.

#### 6. Gehalt der Trockenmasse an System und Produkt

Aus Abb. 31 geht hervor, mit welchen Anteilen System und Produkt im Verlauf der Vegetationsperiode an der Zusammensetzung der Weizenpflanze beteiligt sind (s. auch Tab. 29). Ganz allgemein ist festzustellen, daß, unabhängig von der Schwefelversorgung, der Anteil des Systems an der Trockenmasse, der anfänglich mit 100 % angenommen wird, nach dem Keimpflanzenstadium schnell abnimmt. Das Produkt nimmt entsprechend zu. Etwa am 45. Tag sind beide Stoffgruppen zu je 50 % an der Gesamttrockenmasse beteiligt. Danach wächst der Anteil des Produkts immer mehr, und bei Versuchsende, in der reifen Pflanze, macht das System der vegetativen Organe nur noch 4 %, das ruhende System im Korn etwa 11 % der Gesamttrockenmasse der Weizenpflanze aus. Auf das Produkt entfallen bei der Reife somit etwa 85 %.

Die Schwefelversorgung übt im gesamten Verlauf des vegetativen Wachstums praktisch keinen Einfluß auf das jeweilige Verhältnis von System zu Produkt aus. Zwar ist am 29., 36. und 71. Tag als Folge der S-Düngung ein leicht erhöhter Systemanteil festzustellen, eine allgemeine Tendenz besteht offenbar jedoch nicht. Im Korn dagegen ist ein Einfluß der Schwefeldüngung unverkennbar: Bei jeder der 5 Ernten ist der Anteil des ruhenden Systems an der Gesamttrockenmasse erhöht.



**Abb. 31:** Anteil (in %) von produzierendem System, von Produkt und von System in den Reserveorganen an der Gesamttrockenmasse von Sommerweizen im Verlauf der Vegetationsperiode.

## 7. System- und Produktmenge je Pflanze

In den vegetativen Organen steigt die Wachstumskurve für System (Abb. 32 und Tab. 30) bis etwa zum 60. Tag an. Anschließend folgt bis etwa zum 85. Tag eine Periode wenig veränderter Systemmengen. Zu diesem Zeitpunkt setzt die Kornausbildung ein, und von da stehen abnehmenden Systemmengen in den vegetativen Organen steigende Systemmengen in den generativen Organen (ruhend System) gegenüber. Ein ähnlicher Kurvenverlauf wurde bereits von LACH (1969) und ZAHIRI (1972) bei Sommerweizen gefunden.

Die ausgeglichenen Kurven für die Systemmengen deuten darauf hin, daß die Schwefeldüngung während des vegetativen Wachstums die Systemmenge meistens etwas erhöht hat. Mit beginnender Kornausbildung verwischen sich in den vegetativen Organen die Unterschiede, und bei der Reife wird hier die höhere Systemmenge bei den Pflanzen ohne Schwefeldüngung angetroffen. Im Korn wird die Menge an (ruhendem) System durch die S-Düngung eindeutig gefördert. Der Maximalwert beträgt im Korn bei der Reife 702 mg (+S) und 636 mg/Pfl. (-S).

Die Produktmengen (Abb. 33 und Tab. 31) sind in den ersten Wachstumstagen äußerst gering. Erst etwa vom 30. Tag an nehmen sie erst langsam, dann schnell zu, und bereits um den 45. Tag sind System- und Produktmengen gleich. Die täglichen Zuwachsraten für Produkt sind jetzt wesentlich größer als die für System (Tab. 30, 31). Bis zum 90. Tag nimmt die Produktmenge in den vegetativen Organen zu; danach erfolgt eine langsame Abnahme, während sie im Korn zunimmt und bis zur Reife ansteigt.

Bis zum Beginn der generativen Wachstumsphase ist ein positiver Einfluß der Schwefelversorgung auf die Produktmenge zu erkennen, und bei Beginn der Kornausbildung ist die Produktmenge in den vegetativen Organen durch die S-Düngung deutlich erhöht. Der Einfluß auf die Produkt-

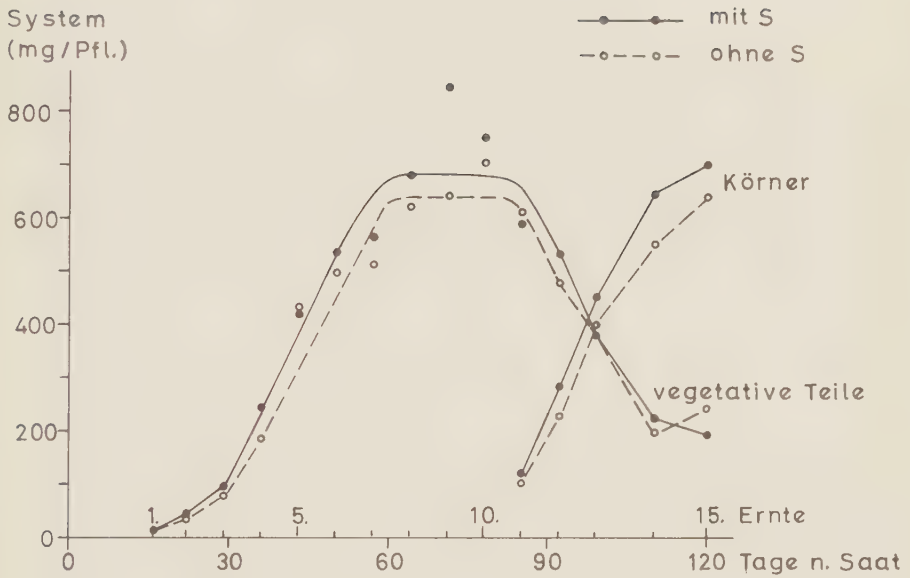


Abb. 32: Die Menge an System (mg) je Sommerweizenpflanze.

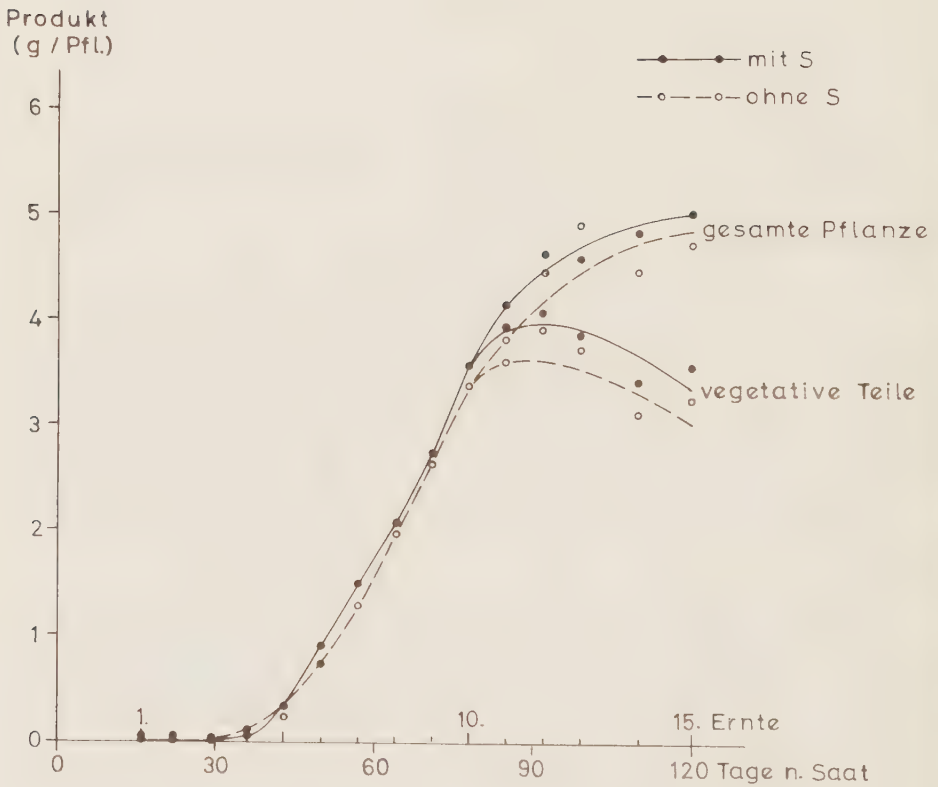
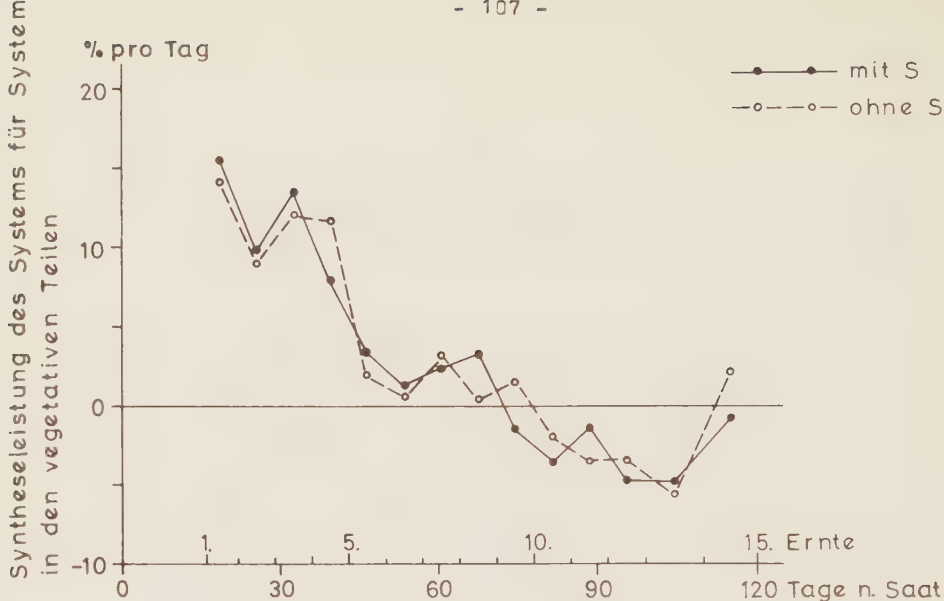


Abb. 33: Die Menge an Produkt (g) je Sommerweizenpflanze.

mengen im Korn ist hingegen gering. Für die vegetativen Organe ergeben sich bei der Reife 3,50 g (+S) und 3,26 g/Pfl. (-S). Die entsprechenden Werte für Korn betragen 1,51 g und 1,46 g.

Ein gewisser positiver Einfluß der Schwefeldüngung auf System- und Produktmenge ist demnach gegeben. Aus den Kurven für die Syntheseleistungen geht das allerdings nicht klar hervor. Sowohl bei alleiniger Berücksichtigung des Systems in den vegetativen Organen (Abb. 34) als auch bei Einbeziehung des ruhenden Systems in die Syntheseleistung (Abb. 34) lassen die vergleichenden Kurven keine sichere Wirkung der Schwefeldüngung auf die Syntheseleistung des Systems der vegetativen Organe für System erkennen. Das Gleiche gilt auch für die Syntheseleistung des Systems für Produkt (Abb. 35). Auch hier schneiden sich die Kurven für +S und -S mehrfach und lassen keine Überlegenheit der einen oder anderen Behandlung erkennen.

Deutlicher wird die Schwefelwirkung, wenn man die Werte für System und Produkt bei der 11. Ernte und bei der Reife vergleichend betrachtet. Bei der 11. Ernte wurde zum ersten Mal das Korn isoliert und untersucht; sie kennzeichnet also das Ende der vegetativen und den Beginn der generativen Entwicklung (Taf. f). Zu diesem Zeitpunkt übt die unterschiedliche Schwefelversorgung kaum einen Einfluß auf die Systemmenge in der gesamten Pflanze aus (Spalte 3), wohl aber auf die Verteilung in der Pflanze. Das Verhältnis von ruhendem System im Korn zu System in den vegetativen Organen beträgt bei der 11. Ernte 1:5,10 (+S) und 1:6,02 (-S). Noch deutlicher ist die unterschiedliche Verteilung bei der Reife. Auch hier ist die Systemmenge in der ganzen Pflanze nur wenig von der Schwefelversorgung abhängig. Das Verhältnis von ruhendem System im Korn zu System in den vegetativen Organen weist jedoch Werte von 1:0,28 (+S) und 1:0,38 (-S) auf.



Syntheseleistung des Systems der vegetativen Pflanzenteile für System in denselben Organen (ohne Körner) bei Sommerweizen (in % der jeweiligen Systemmenge in den vegetativen Teilen)

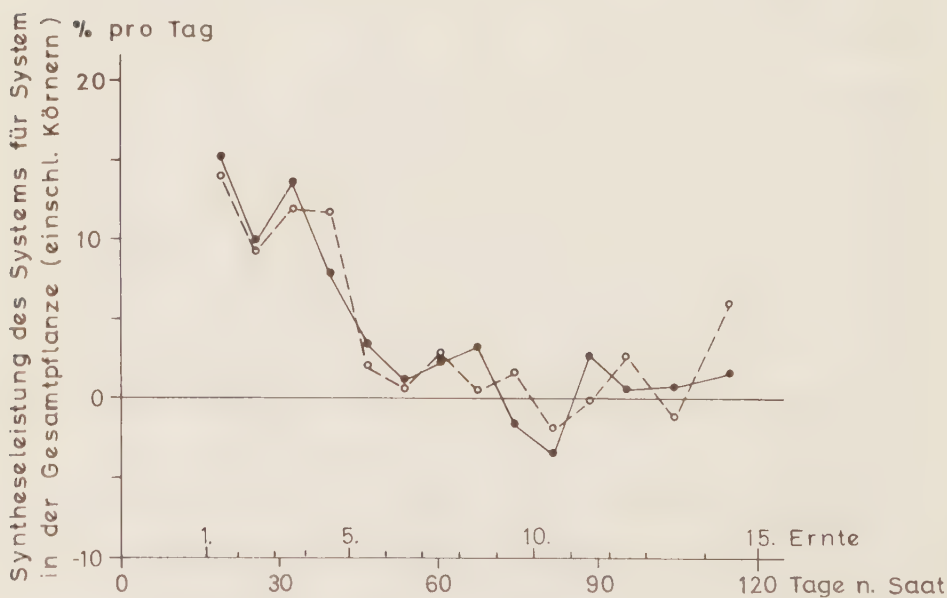


Abb. 34: Syntheseleistung des Systems der vegetativen Pflanzenteile für System in der Gesamtpflanze (einschl. Körner) bei Sommerweizen (in % der jeweiligen Systemmenge in den vegetativen Teilen).

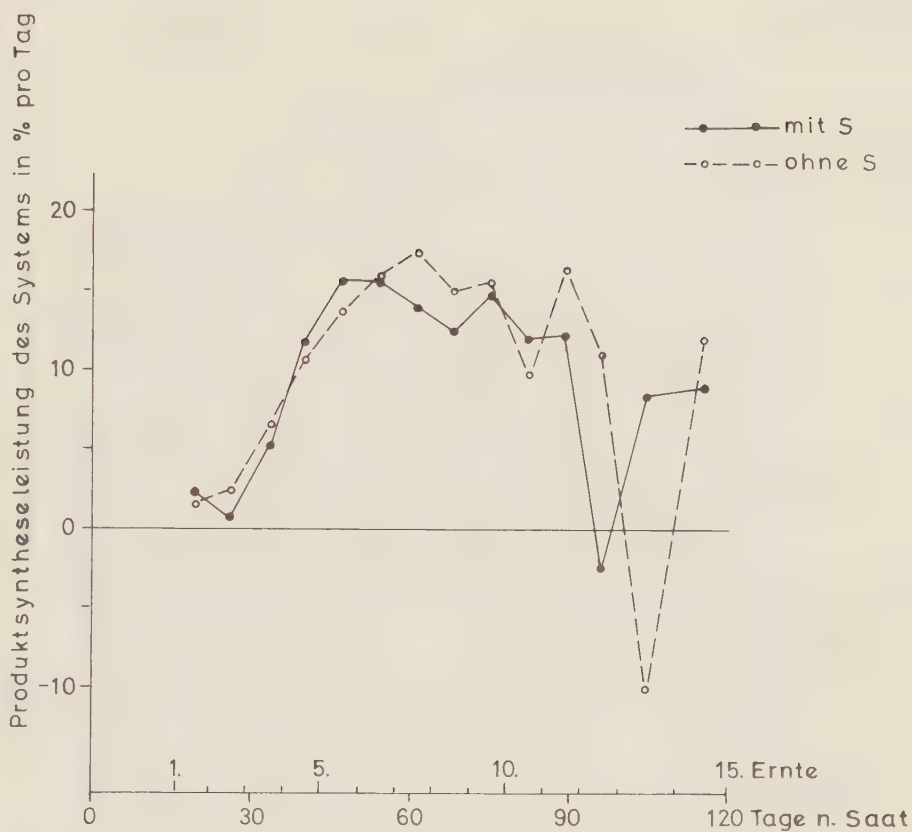


Abb. 35: Syntheseleistung des Systems für Produkt in der Gesamtpflanze (einschl. Körner) bei Sommerweizen (in % der jeweiligen Systemmenge in den vegetativen Teilen).

Tabelle f: Veränderungen in der Menge von System und Produkt (in mg) in den vegetativen Teilen und in den Körnern zwischen der 11. Ernte und Vollreife.

|                         | 1                                          | 2                                      | 3                                                                   | 4                                                        | 5                                                    | 6                                                                              | 7                                                                                                  |
|-------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| V a r i a n t e         | mg in den veg. Teilen<br>bei der 11. Ernte | mg in den Körnern<br>bei der 11. Ernte | Summe in den veg. Teilen<br>und in den Körnern<br>bei der 11. Ernte | mg in den veg. Teilen<br>bei Versuchsende<br>(15. Ernte) | mg in den Körnern<br>bei Versuchsende<br>(15. Ernte) | Summe in den veg. Teilen<br>und in den Körnern<br>bei Versuchsende (15. Ernte) | Differenz von Spalten 3<br>u. 6, Zuwachs (mg/pfl.) in<br>Körnern zwischen der 11.<br>und 15. Ernte |
| <u>System</u><br>mit S  | 590,7                                      | 115,7                                  | 706,4                                                               | 194,3                                                    | 701,8                                                | 896,1                                                                          | 189,7                                                                                              |
| ohne S                  | 609,6                                      | 101,2                                  | 710,8                                                               | 240,5                                                    | 636,3                                                | 876,8                                                                          | 166,0                                                                                              |
| <u>Produkt</u><br>mit S | 3899,3                                     | 247,3                                  | 4146,6                                                              | 5013,9                                                   | 1508,2                                               | 6522,1                                                                         | 2128,2                                                                                             |
| ohne S                  | 3600,4                                     | 240,8                                  | 3841,2                                                              | 4723,2                                                   | 1463,7                                               | 6186,9                                                                         | 2104,9                                                                                             |

Die Umlagerung von System und Produkt aus den vegetativen in die generativen Organe ist ein Stoffwechselprozeß von höchster Bedeutung. ZAHIRI (1972) konnte zeigen, daß bei Sommerweizen die Umlagerung von System bei ungenügender Versorgung der Pflanzen mit Kalium oder mit Kupfer gehemmt ist, während dieses Phänomen bei Phosphatmangel nicht auftritt. Die vorliegenden Ergebnisse lassen für Schwefel eine ähnliche Wirkung wie die von Kalium und Kupfer erkennen. Worauf die Störung in der Umlagerung des Systems im Einzelnen zurückzuführen ist, kann nur vermutet werden. Beim Schwefel könnten verschiedene Faktoren eine Rolle spielen. So könnte die Zerlegung des Systems in seine Bausteine, die der Umlagerung vorhergehen muß, gehemmt sein; es könnte aber auch der Transport der Bausteine selbst gestört sein. Mangel an S-haltigen Bausteinen beim Aufbau des ruhenden Systems könnte ebenfalls eine Rolle spielen, obwohl bei den vorliegenden Untersuchungen der relativ hohe Gehalt der vegetativen Organe an organisch gebundenem Schwefel zur Zeit der Kornausbildung nicht sehr für die letztere Annahme spricht.

Auf die Umlagerung von Produkt hingegen scheint die unterschiedliche Schwefelversorgung keinen Einfluß genommen zu haben. Zwar liegen sowohl bei der 11. Ernte als auch bei der Reife höhere Werte für Produkt in der ganzen Pflanze als Folge der S-Düngung vor (Spalten 3 und 6), das Verhältnis von Produkt in vegetativen und in generativen Organen ist jedoch bei der Reife annähernd gleich und beträgt 3,32:1 (+S) und 3,27:1 (-S).

Die Werte der Spalte 7 (Tab. f) machen weiterhin deutlich, daß während der generativen Entwicklung nicht nur eine Systemumlagerung, sondern auch noch eine nennenswerte Synthese von System stattgefunden hat. Sie beträgt 190 mg (+S) und 166 mg (-S). Diese Werte lassen darauf schließen, daß die Schwefeldüngung die Syntheseleistung

des Systems für System in der generativen Wachstumsperiode noch leicht erhöht hat.

Das Fehlen von S-Mangelercheinungen bei den Pflanzen ohne S-Düngung und die geringen Unterschiede im Ertrag zeigen, daß es sich bei Sommerweizen um latenten Schwefelmangel gehandelt hat. Dafür sprechen auch die deutlichen Unterschiede, die sich als Folge der S-Düngung im Gehalt der Pflanzen an  $\text{SO}_4\text{-S}$ , z. T. auch an organisch gebundenem S, ergeben haben. Insgesamt sind aber die Auswirkungen der besseren Schwefelversorgung auch auf System- und Produktwachstum nicht sehr ausgeprägt.

Trotzdem sind Rückschlüsse auf die spezielle Bedeutung des Schwefels für System- und Produktwachstum bei latentem S-Mangel möglich:

1. Schwache Hemmung der Syntheseleistung des Systems für System während der vegetativen und generativen Entwicklung.
2. Deutliche Hemmung der Umlagerung von System aus den vegetativen in die generativen Organe.
3. Schwach gehemmte Produktsynthese, eher im vegetativen als im generativen Wachstumsabschnitt.
4. Keine Wirkung auf die Umlagerung von Produkt aus vegetativen in generative Organe.
5. Kein sicherer Einfluß auf den Zeitpunkt der Umsteuerung von Überwiegender Systemsynthese auf Überwiegende Produktsynthese.

Es erhebt sich die Frage, ob starker Schwefelmangel bei Sommerweizen zu den gleichen Ergebnissen, möglicherweise stärker ausgeprägt, geführt hätte. Aus theoretischen Überlegungen ist zwar zu erwarten, daß auch dann das Systemwachstum stärker betroffen worden wäre als das Produktwachstum. Eine endgültige Klärung könnte aber nur durch neue Versuche herbeigeführt werden, bei denen es gelingt, Sommerweizen unter echten Schwefelmangelbedingungen heranzuziehen.

## b. Ölrettich

### 1. Verlauf der Ertragsbildung

Die Ertragsbildung bei Ölrettich (Abb. 36 und Tab. 34) nimmt einen ähnlichen Verlauf, wie er bereits früher von LINSER et al. (1968) beschrieben worden ist. Während des ausgesprochen vegetativen Wachstumsabschnittes, aber auch noch bei beginnender Schotenbildung erfolgt eine starke Zunahme der Trockenmasse. Mit einsetzender Samenbildung, vom 85. Tag an, nimmt die Trockenmasse der gesamten Pflanze nur noch langsam zu.

Bereits vom 43. Tag an wird die Wirkung der Schwefeldüngung auf den Ertrag der vegetativen Organe deutlich. Später wird dann vor allem das Schotengewicht gefördert. Es beträgt am 78. Tag 1,5 g (+S) und 0,7 g (-S). Nach Abtrennung der Körner zeigt der Kurvenverlauf, daß bei S-Düngung das Trockengewicht der vegetativen Organe abnimmt, während es bei Schwefelmangel nahezu unverändert bleibt. Bei der Reife äußert sich die positive Wirkung der S-Düngung besonders im erhöhten Samengewicht.

Im Gegensatz zu Sommerweizen hat bei Ölrettich die ungenügende Schwefelversorgung zu akutem Mangel an diesem Nährstoff geführt, der sich in typischen Mangelercheinungen und Ertragsdepressionen äußert.

### 2. Reinproteingehalt

Der Reinproteingehalt der vegetativen Organe ergibt im Verlauf der Vegetationszeit ebenfalls einen ähnlichen Kurvenverlauf, wie er bereits in früheren Untersuchungen gefunden wurde (LINSER et al. 1968). Die anfänglich hohen Gehalte der vegetativen Organe nehmen erst schnell, mit Beginn des generativen Wachstums nur noch

Trockenmasse  
(g / Pfl.)

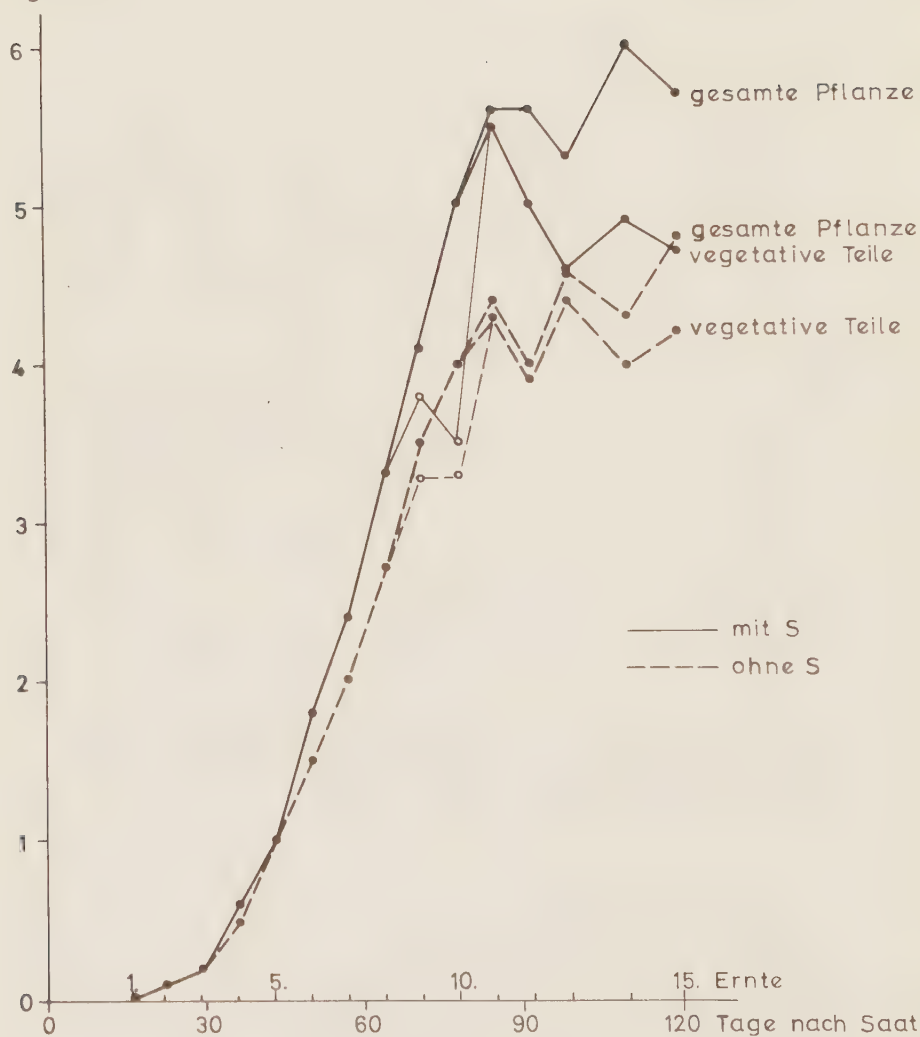


Abb. 36: Trockengewichte (g/Pfl.) bei Ölrettich im Verlauf der Vegetationsperiode.

langsam ab (Abb. 37 und Tab. 37). Die niedrigsten Gehalte werden bei der Reife ungetroffen. In den Schoten sinkt der Reinproteingehalt von der einen zur anderen Ernte auf die Hälfte ab. Im Korn jedoch sind die Veränderungen während der gesamten Entwicklung relativ gering.

Bis zum Beginn der generativen Entwicklung läßt der Reinproteingehalt der vegetativen Organe keinen Einfluß der Schwefelversorgung erkennen. Danach sind die höheren Gehalte in den Mängelpflanzen anzutreffen, mit Ausnahme der letzten Ernte, wo beide Varianten etwa die gleichen Gehalte aufweisen. In den Schoten ist die Schwefelwirkung nicht einheitlich: Bei der ersten Ernte zeigen die mit S gut versorgten Schoten die höheren Reinproteingehalte, bei der zweiten Ernte ist es umgekehrt. Auch im Korn sind von der zweiten Samenernte an deutlich höhere Reinproteingehalte in den Mängelpflanzen anzutreffen.

Diese erhöhten Reinproteingehalte deuten nicht unbedingt auf eine gehemmte Eiweiß-Synthese hin, wie sie von verschiedenen Autoren als Folge des S-Mangels festgestellt wurde (EATON, 1935, 1941, 1942, 1951; EGGLE 1953a, b). In erster Linie ist bei S-Mangel ein Anstieg des Gehaltes der Pflanzen an löslichen N-Verbindungen zu erwarten, da auf Grund des Mangels an S-haltigen Aminosäuren die Eiweiß-Synthese eingeschränkt ist. Das Verhältnis von Rohprotein zu Reinprotein muß also bei S-Mangel weiter sein als bei ausreichender Schwefelversorgung. Die eigenen Untersuchungen bestätigen diese Erwartung. In den Mängelpflanzen werden bei den meisten Ernten höhere Gehalte an löslichen N-Verbindungen angetroffen (Tab. 37a). Besonders ausgeprägt ist das bei Schoten und Körnern, wie nachstehende Tabelle (g) zeigt:

Reinprotein  
(% i. d. T.S.)

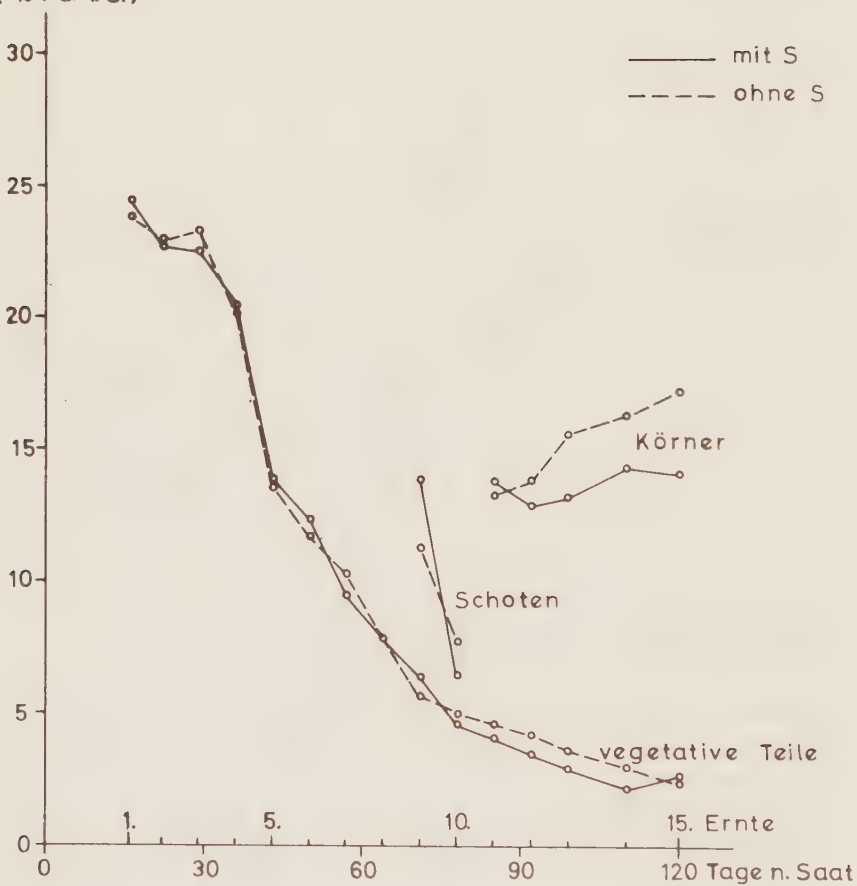


Abb. 37: Reinproteingehalte (% d.Tr.S.) bei Ölrettich im Verlauf der Vegetationsperiode.

Tabelle (g): Anteil des Reinproteins (in %) in Schoten und Körnern am Rohprotein.

| Pflanzen-<br>teil | Schoten |      |      | K ö r n e r |      |      |      |
|-------------------|---------|------|------|-------------|------|------|------|
|                   | 9       | 10   | 11   | 12          | 13   | 14   | 15   |
| Ernte             |         |      |      |             |      |      |      |
| mit S             | 83,1    | 83,3 | 67,6 | 81,1        | 83,0 | 91,6 | 85,9 |
| ohne S            | 58,9    | 60,9 | 69,6 | 61,3        | 75,0 | 72,4 | 83,0 |

Sie gibt an, ein wie großer Anteil des Rohproteins jeweils aus Reinprotein besteht.

#### Reinproteinmengen

Daß trotz z.T. wesentlich höherer Reinproteingehalte in den S-Mangelpflanzen eine verminderte Eiweiß-Synthese stattgefunden hat, geht aus den Reinproteinmengen je Pflanze hervor (Abb. 38 und Tab. 38). Sie erreichen ihre Maximalwerte mit 277 mg am 71. Tag (+S) und 220 mg am 78. Tag (-S). Bis zur Reife sinken diese Werte auf 259 bzw. 208 mg ab, was zum größten Teil auf unvermeidbare Blattverluste bei Versuchen mit Ölrettich zurückzuführen sein dürfte. In den vegetativen Organen betragen die Endwerte 121 mg (+S) und 98 mg (-S), in den Körnern 138 mg bzw. 110 mg. Von der verminderten Proteinsynthese sind also vegetative und generative Organe in gleicher Weise betroffen.

Reinprotein  
(mg / Pfl.)

— mit S  
- - - ohne S

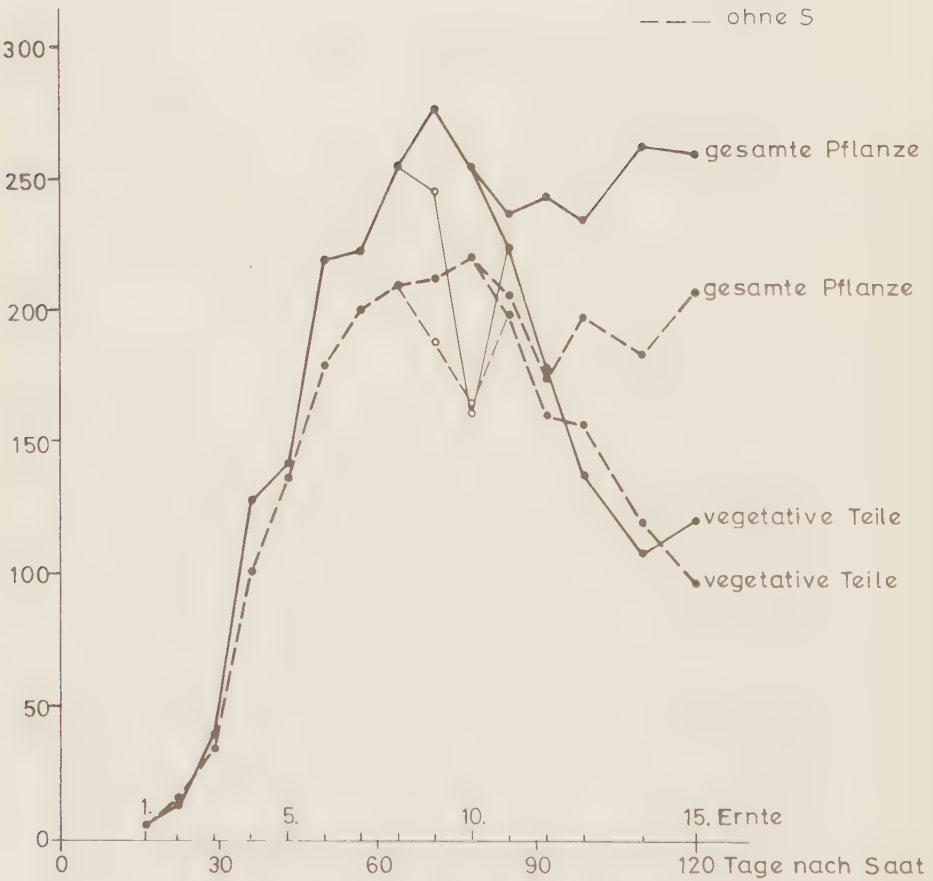


Abb. 38: Reinproteinmengen (mg/Pfl.) bei Ülettich im Verlauf der Vegetationsperiode.

### 3. Gehalt an Gesamt-Schwefel

Der ursprüngliche Gehalt der Pflanzen an Gesamt-S sinkt im Verlauf der Entwicklung auf einen Bruchteil ab, und zwar von etwa 10 auf 2 mg/Pfl. (+S) bzw. von 8 auf etwa 1 mg (-S) (Abb. 39. und Tab. 39). Die mit S gut versorgten Pflanzen kommen in den Bereich dieses Endwertes etwa am 70. Tag, die Mangelpflanzen schon wesentlich früher am 57. Tag. Noch größer als in den vegetativen Organen sind die Unterschiede im Gesamt-S-Gehalt bei Schoten und Körnern. Letztere weisen während der gesamten Entwicklung einen 4-5-fach erhöhten Gehalt an Gesamt-S auf. Über ähnliche Unterschiede im Gesamt-S-Gehalt in Abhängigkeit von der Schwefelversorgung berichtet auch DELOCH (1960). Nach BERSIN (1950) und DELOCH (1960) enthalten ganz allgemein die eiweißreichsten Pflanzenteile auch die höchsten S-Gehalte. Blätter sind also S-reicher als Stengel. Besonders hohe S-Gehalte sollen Chloroplasten aufweisen (HANSON et al. 1941).

Der im Vergleich zu Sommerweizen hohe Gehalt an Gesamt-S bei Ölrettich ist auch beim Vergleich anderer Getreidearten mit Cruciferen, aber auch Leguminosen zu finden. Er beruht einmal auf dem höheren Eiweißgehalt dieser Pflanzenarten. Bei den Cruciferen kommt noch der Gehalt an Senfölen hinzu, die Schwefel als Baustein enthalten. Die nachstehende Tabelle (DELOCH, 1960) macht das besonders deutlich:

Gesamtschwefel  
(mg / g T. S. )

— mit S  
- - - ohne S

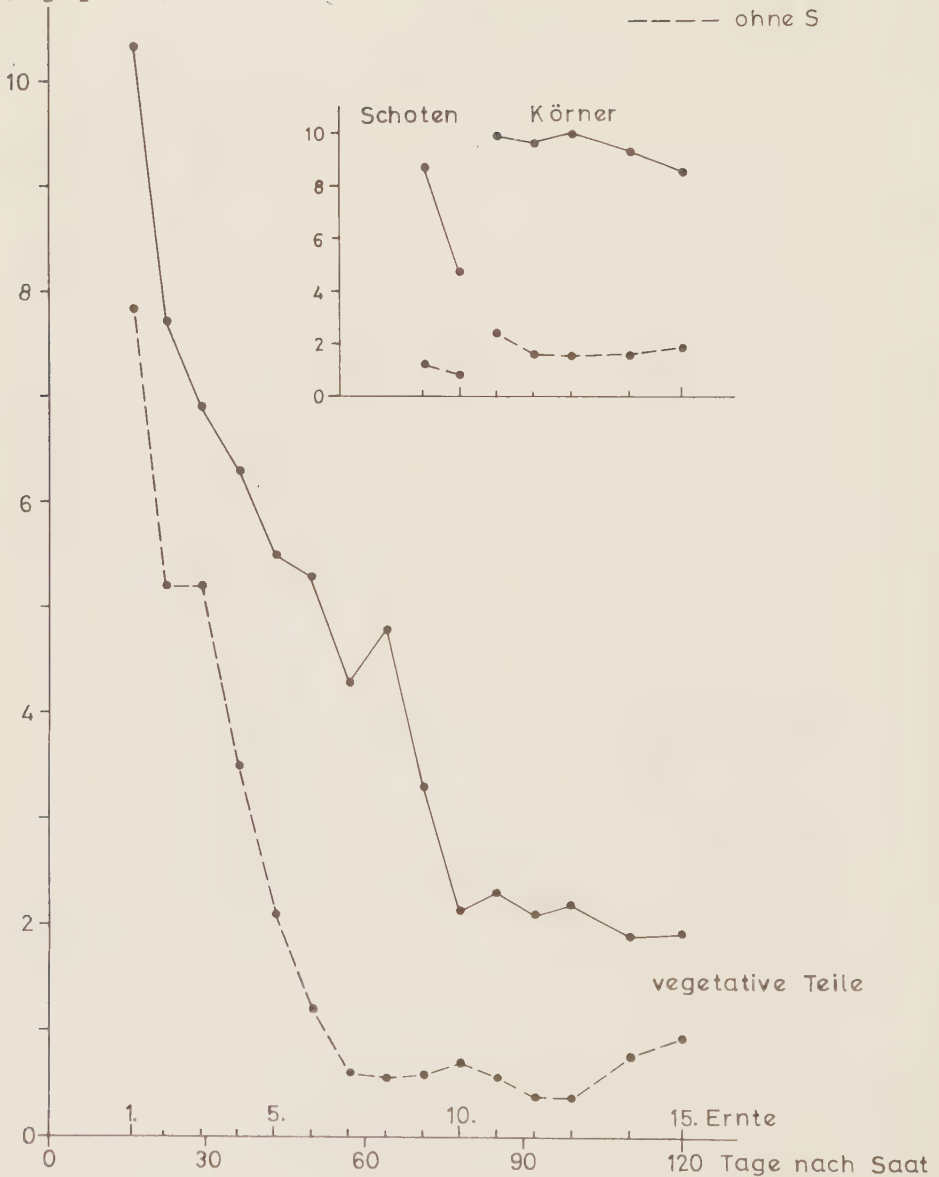


Abb. 39: Gesamtschwefelgehalte (mg/g Tr.S.) bei Ölrettich  
im Verlauf der Vegetationsperiode.

Tabelle (h): Der S-Gehalt verschiedener Samen und Früchte (DELOCH, 1960) (in mg S/g Tr. Sub.)

| Gramineen | mg S | Leguminosen | mg S | Kruziifere  | mg S |
|-----------|------|-------------|------|-------------|------|
| Roggen    | 1,54 | Ackerbohnen | 2,37 | Sareptasenf | 10,1 |
| Gerste    | 1,81 | Buschbohnen | 2,43 | Raps        | 11,5 |
| Hafer     | 1,81 | Erbsen      | 2,67 | Senf        | 13,9 |
| Weizen    | 1,69 | Zottelwicke | 2,92 | Ölrettich   | 16,6 |
| Mais      | 1,69 | Soja        | 3,25 |             |      |

Menge an Gesamtschwefel je Pflanze

Die höheren Erträge und die höheren Gehalte an Gesamt-S bei Schwefeldüngung führen dazu, daß die Unterschiede in der Menge an Gesamt-S noch ausgeprägter sind als in den Gehalten. Sie ist z. B. am 64. Tag bei ausreichender Schwefelversorgung zehnmal höher als in den Mangelpflanzen. Beim Eintritt in die generative Phase nimmt die Schwefelmenge in den vegetativen Organen der gut versorgten Pflanzen fortlaufend ab, in den Mangelpflanzen dagegen steigt sie bis zur Reife noch an, so daß jene bei Versuchsende etwa die Hälfte des Gesamtschwefels in den Körnern enthalten, diese nur etwa  $\frac{1}{5}$  der Gesamtmenge. Bemerkenswert ist auch, daß bei den gut versorgten Pflanzen eine beträchtliche Schwefelmenge in den Schoten vorliegt, am 78. Tag fast 50 %. Nach Isolierung der Körner werden die Schoten den vegetativen Organen zugerechnet. Die Körner enthalten bei der Reife 8,3 mg (+S) bzw. 1,1 mg (-S) Gesamtschwefel je Pflanze.

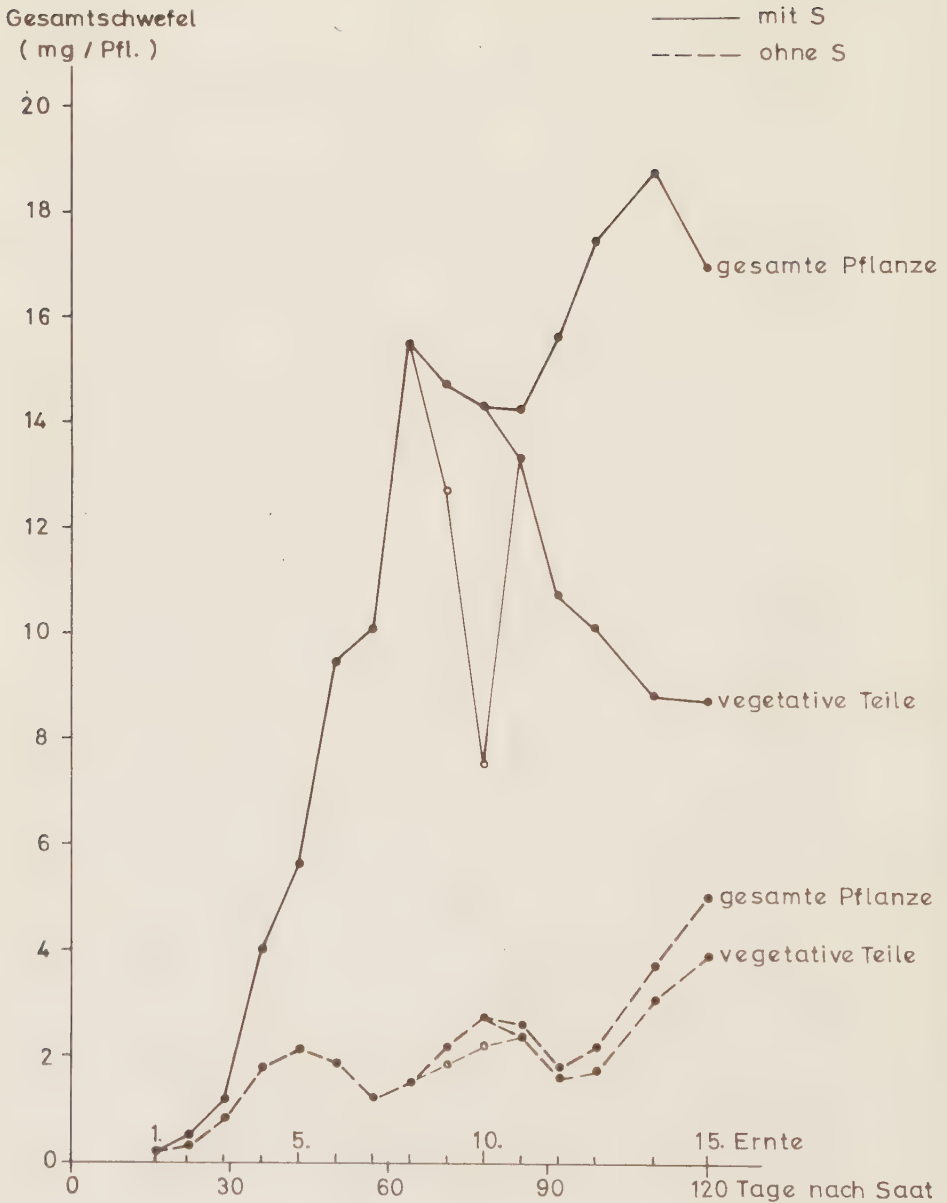


Abb. 40: Gesamtschwefelmengen (mg/Pfl.) bei Ölrettich im Verlauf der Vegetationsperiode.

#### 4. Gehalt an Sulfat-Schwefel

Der Gehalt der Ölrettichpflanzen an Sulfat-S nimmt im Verlauf der Vegetationsperiode ständig ab, sowohl in den vegetativen Organen als auch in Schoten und Körnern (Abb. 41 und Tab. 41). Bei der ersten Ernte, am 16. Tag, weisen auch die Schwefelmangelpflanzen mit 3 mg  $\text{SO}_4\text{-S/g Tr.S.}$  noch einen relativ hohen Gehalt auf, im Vergleich mit 5,3 mg bei ausreichender Schwefelversorgung. Danach wird der relative Unterschied immer größer, und bereits am 50. Tag sinkt in den Mangelpflanzen der  $\text{SO}_4\text{-S-}$ Gehalt auf einen minimalen Wert von 0,06 mg/g Tr.S. ab. Dieser niedrige Gehalt dauert bis zum Versuchsende an und ist zum Teil analytisch kaum noch nachweisbar. Bereits vom 43. Tag an ist in den gut versorgten Pflanzen der Gehalt an  $\text{SO}_4\text{-S}$  um ein Vielfaches höher. Das gilt in späteren Entwicklungsstadien auch für Schoten und Körner. Zur Zeit der Reife sind in den vegetativen Organen der mit S gut versorgten Pflanzen 0,62 mg und in den Samen 1,4 mg  $\text{SO}_4\text{-S je g Tr.S.}$  enthalten. Wenn der Sulfatgehalt der Pflanzen als Schwefelreserve angesehen wird, so ist festzustellen, daß bei den Mangelpflanzen eine solche Reserve bereits vom 50. Tag an praktisch nicht mehr bestanden hat und die Pflanzen völlig auf die laufende Schwefelaufnahme aus dem Boden und wahrscheinlich auch aus der Luft angewiesen waren.

#### Menge an Sulfat-Schwefel je Pflanze

Das Fehlen jeglicher Sulfatreserven bei den Mangelpflanzen wird besonders deutlich in Abb. 42 und Tab. 42. Während der gesamten Vegetationsperiode ist hier die Sulfatmenge minimal. Bei Schwefeldüngung hingegen ist stets eine hohe Sulfatreserve vorhanden. So beträgt z. B. am 64. Tag die Menge an Sulfat-S 7,1 mg (+S)

Sulfatschwefel  
(mg / g T.S.)

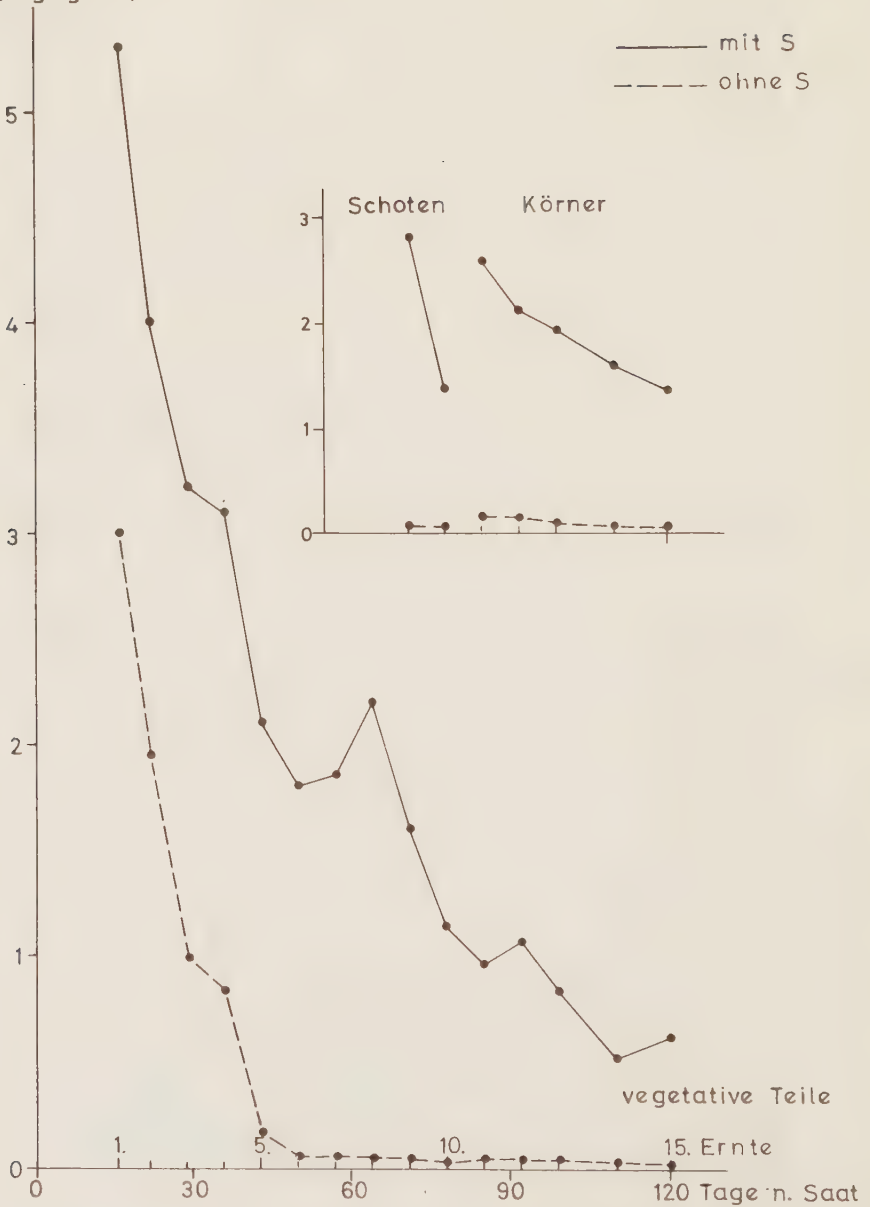


Abb. 41: Sulfatschwefelgehalte (mg  $\text{SO}_4\text{-S/g}$  Tr.S.) bei Ölrrettich im Verlauf der Vegetationsperiode.

Sulfatschwefel  
(mg / Pfl.)

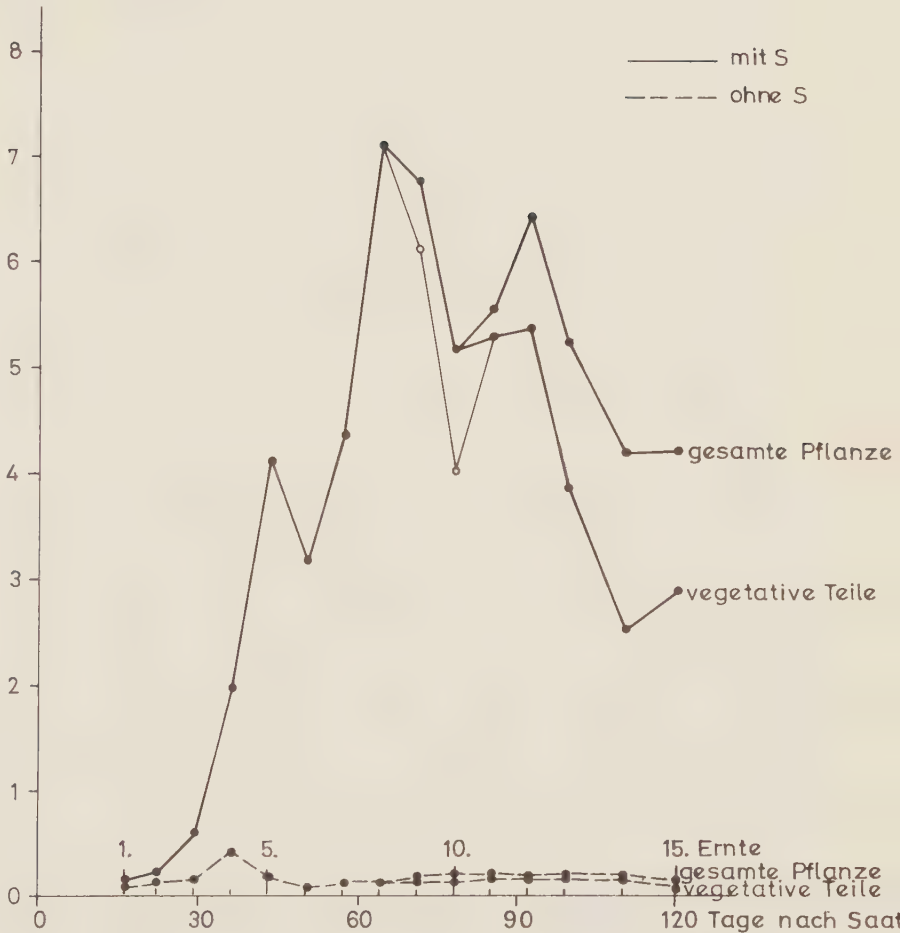


Abb. 42: Sulfatschwefelmengen (mg  $\text{SO}_4\text{-S/Pfl.}$ ) bei Ölrettich  
im Verlauf der Vegetationsperiode.

und 0,1 mg (-S) je Pflanze. Nach LINSER (1967) reicht bei Schwefelmangel der gesamte aufgenommene Schwefel nicht aus, um den Bedarf der Strukturen des wachsenden lebenden Systems zu decken. Es wird daher fast der gesamte aufgenommene Schwefel zur organischen Form reduziert, und es wird kein anorganischer S (Sulfat-Ion) mehr vorliegen. Im Falle des Ölrettichs kommt zu dem Bedarf der lebenden Strukturen noch die Synthese von Senfölen hinzu, die, wie LINSER et al. (1969) zeigen konnten, bei Schwefelmangelpflanzen zwar eingeschränkt wird, aber nicht völlig unterbleibt.

#### 5. Gehalt an org. geb. Schwefel

Der Gehalt der Pflanzen an org. geb. Schwefel (Abb. 43 und Tab. 43) unterliegt ähnlichen Veränderungen wie der Gehalt an Gesamt-S. Bis zum 33. Tag ist kein sicherer Einfluß der Schwefeldüngung auf den Gehalt an org. geb. S festzustellen. Danach sinkt in den Mangelpflanzen bis zum 57. Tag der Gehalt steil ab. Diese niedrigen Gehalte bleiben bis zum 100. Tag erhalten, zum Schluß erfolgt dann in den vegetativen Organen noch einmal ein deutlicher Anstieg. Bei ausreichender Schwefeldüngung nimmt nach dem 33. Tag der Gehalt an org. geb. S langsamer ab. Am 78. Tag beträgt er in den vegetativen Organen etwa 1 mg/g Tr.S. Dieser Wert nimmt bis zur Reife wieder leicht zu. In Schoten und Körnern der Mangelpflanzen beträgt zu allen Ernteterminen der Gehalt an org. geb. S nur einen Bruchteil des Gehaltes bei guter S-Versorgung.

Der Anstieg des Gehaltes in den vegetativen Organen der Mangelpflanzen bei den letzten beiden Ernten ist in Anbetracht des niedrigen Gehaltes in den Körnern und des dort offensichtlich bestehenden Bedarfs

organ. Schwefel  
(mg / g T.S.)

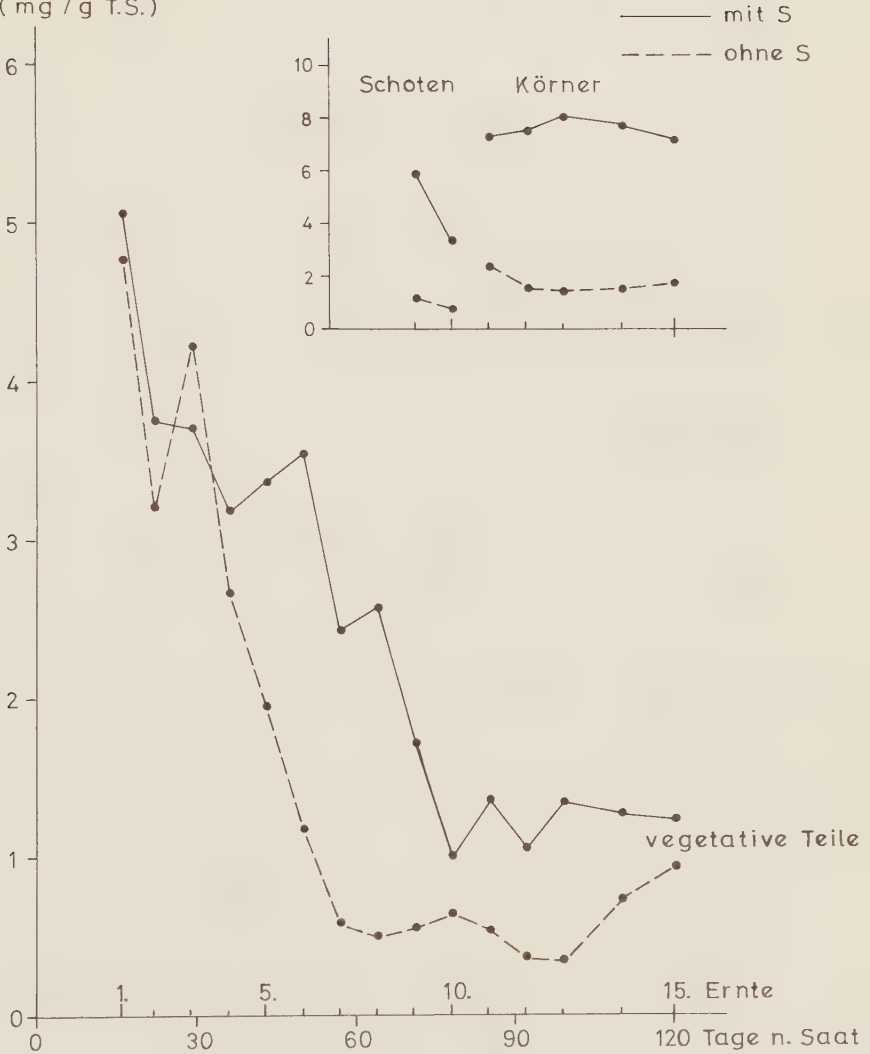


Abb. 43: Gehalt an org. geb. Schwefel (mg/g Tr.S.) bei  
Ülrettich im Verlauf der Vegetationsperiode.

auffallend. Es kann angenommen werden, daß auf Grund des S-Mangels der Transport von org. geb. S aus den vegetativen in die generativen Organe gehemmt ist.

#### Menge an org. geb. Schwefel je Pflanze

Bis zum 45. Tag übt die S-Düngung keinen sicheren Einfluß auf die Menge des org. geb. S je Pflanze aus (Abb. 44 und Tab. 44). Während sich nun die zu diesem Zeitpunkt in den Mangelpflanzen vorliegende S-Menge bis zum 100. Tag wenig verändert (sie beträgt in dieser Periode etwa 2 mg je Pflanze), steigt sie bei Schwefeldüngung auf etwa 12 mg im gleichen Zeitraum an. Bei den mit S gut versorgten Pflanzen liegt am 78. Tag mehr als die Hälfte der Gesamtmenge in den Schoten vor.

Mit beginnender Kornentwicklung nimmt in Abhängigkeit von der Schwefelversorgung die Menge des org. geb. S in den vegetativen Organen einen entgegengesetzten Verlauf: Bei guter Versorgung nimmt die Menge bis zur Reife ab, bei S-Mangel nimmt sie insgesamt zu. Im ersteren Falle erfolgt, wie Abb. 44 zeigt, eine starke Umlagerung in die Körner, im letzteren Falle ist diese ganz unbedeutend. Was in den Gehalten an org. geb. S bereits deutlich wurde, wird hier erneut bestätigt. In den vegetativen Organen beträgt die Menge an org. geb. S bei der Reife 5,8 mg (+S) bzw. 3,8 mg (-S) je Pflanze, in den Körnern 7,0 mg (+S) gegenüber 1,1 mg (-S).

Von besonderem Interesse ist bei Ölrettich auch das Verhältnis von org. geb. S zu Reinprotein (Abb. 45 und Tab. 45). Bis zum 30. Tag ist kein Einfluß der Schwefeldüngung festzustellen. Danach wird bei den mit S gut versorgten Pflanzen das Verhältnis in den

organ. S  
(mg / Pfl.)

— mit S  
- - - ohne S

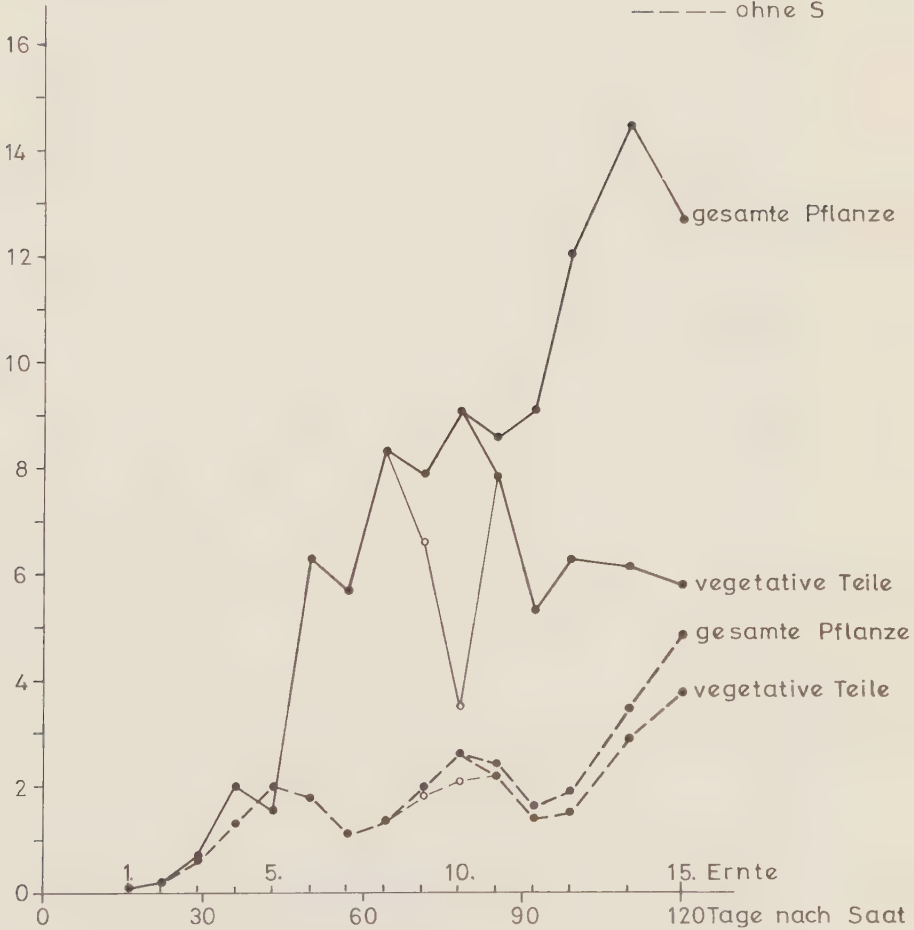


Abb. 44: Mengen von org. geb. Schwefel (mg/Pfl.) bei Ölrettich im Verlauf der Vegetationsperiode.

vegetativen Organen enger, besonders beim Beginn der generativen Phase. Bei Schwefelmangel wird nach dem 30. Tag das Verhältnis zuerst weiter. Es beträgt über einen längeren Zeitabschnitt etwa 10 : 1 000. Vom 99. Tag bis zur Reife nimmt es wieder auf 39 : 1 000 zu. In den Körnern der gut versorgten Pflanzen verändert sich das Verhältnis im Laufe der Entwicklung nur wenig; es liegt im Durchschnitt bei etwa 55 : 1 000. Bei den Mangelpflanzen beträgt es meistens 10 : 1 000.

Im Verhältnis org. geb. S/Reinprotein bestehen also in Abhängigkeit von der Schwefelversorgung auffallende Unterschiede, insbesondere in den Körnern. Da man voraussetzen muß, daß die Zusammensetzung des Reinproteins genetisch bedingt ist, d. h., daß Reinprotein in vergleichbaren Entwicklungsstadien und vergleichbaren Organen stets den gleichen Gehalt an org. geb. S aufweisen muß, auch bei unterschiedlicher Schwefelversorgung, müssen noch andere Verbindungen, die org. geb. S enthalten, auf das Verhältnis Einfluß nehmen. Das sind bei Ölrettich vor allem die Senföle, deren Schwefel in die Berechnung des Verhältnisses eingeht. Ohne genaue analytische Erfassung dieser Stoffgruppe ist es schwierig, etwas über den tatsächlichen Gehalt des Reinproteins an org. geb. S auszusagen. Es kann aber angenommen werden, daß das über weite Strecken in den vegetativen Organen der Mangelpflanzen angetroffene Verhältnis von 10 : 1 000, das später auch in den Samen dieser Pflanzen die meiste Zeit vorhanden ist, dem wirklichen Gehalt des Ölrettich-Reinproteins an org. geb. S nahe kommt. Zwar ist auch bei S-Mangelpflanzen, wie LINSER et al. (1969) bei Kapuzinerkresse und Ölrettich zeigen konnten, die Synthese S-haltiger sekundärer Pflanzenstoffe nicht völlig unterbunden, der Gehalt an diesen Verbindungen ist aber ganz wesentlich reduziert, und die Menge des in dieser Form gebundenen Schwefels ist unbedeutend.

organ. Schwefel  
(mg / g Reinprotein)

— mit S  
- - - ohne S

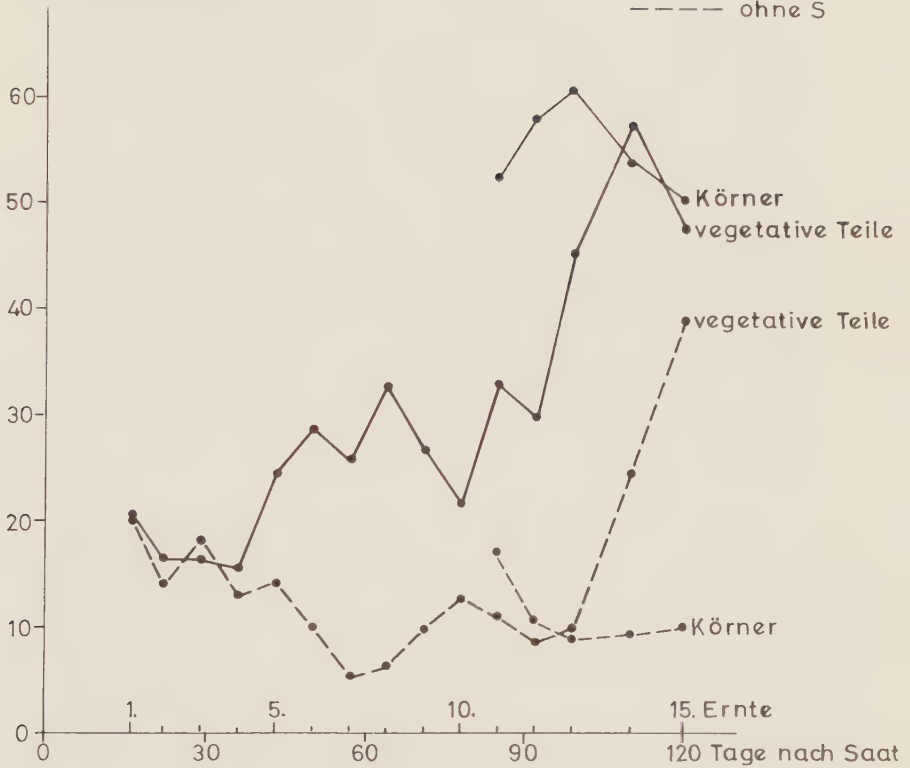


Abb. 45: Verhältnis von org. geb. S/Reinprotein (mg org. geb. S/g Reinprotein) bei Ölerrettich im Verlauf der Vegetationsperiode.

Sommerweizen und Ölrettich haben, obwohl von dem gleichen Vorrat an pflanzenaufnehmbarem Schwefel im Boden ausgehend, ganz unterschiedlich reagiert. Bei Weizen sind wohl deutliche Auswirkungen auf den Gehalt an Sulfatschwefel zu verzeichnen, aber kaum auf den Ertrag. Bei Ölrettich dagegen führt das gleiche Schwefelangebot zu starkem Schwefelmangel, zu beträchtlichen Ertragsdepressionen an vegetativen und generativen Organen und zu grundlegenden Änderungen im gesamten Schwefelhaushalt der Pflanze. Der höhere S-Bedarf des Ölrettichs gegenüber Weizen scheint weniger auf einem genetisch bedingten höheren S-Gehalt des Reinproteins zu beruhen als vielmehr auf einem genetisch verankerten höheren Reinproteingehalt der generativen Organe, vor allem aber auf dem Vorhandensein eines schwefelbenötigenden sekundären Stoffwechselsystems, das auch unter Mangelbedingungen seine Tätigkeit nicht einzustellen vermag.

#### 6. Gehalt der Trockenmasse an System und Produkt

Abb. 46 veranschaulicht, mit welchen Anteilen System und Produkt am Aufbau der Ölrettichpflanze im Lauf der Wachstumsperiode beteiligt sind (s. auch Tab. 46). Von der 11. Ernte an ist neben dem produzierenden System in den vegetativen Organen auch das Reservesystem im Korn kenntlich gemacht. Bis zur 3. Ernte (am 29. Tag) bestehen die jungen Pflanzen fast ausschließlich aus System. Danach setzt eine starke Produktsynthese ein, und bereits bei der 6. Ernte, am 50. Tag, machen System und Produkt je die Hälfte der Trockenmasse aus. Der Produktanteil wird danach langsam immer größer. Bei der Reife umfaßt das System der vegetativen Organe nur noch etwa 8 % der Trockenmasse. Dazu kommt das Reservesystem mit weiteren 10 %, das sich von der 11. Ernte an gebildet hat.

In den Schwefelmangelpflanzen ist zeitweise der Systemanteil stärker ausgeprägt, so in der Jugendentwicklung bei der 2. und 3. Ernte, aber auch im generativen Entwicklungsabschnitt. Hier wirkt sich eine gehemmte Umlagerung des Systems aus den vegetativen in die generativen Organe aus, wie es auch der Anteil des Reservesystems unterschiedlicher Schwefelversorgung erkennen läßt. Insgesamt weisen aber bei der Reife die gut und die schlecht mit Schwefel versorgten Pflanzen fast gleiche Anteile an System und Produkt auf, nämlich 19 % (+ S) und 18 % (- S) System, entsprechend 81 und 82 % Produkt, davon je etwa die Hälfte in den vegetativen und den generativen Organen.

#### 7. System- und Produktmenge je Pflanze

Die Systemmengen in den vegetativen Organen bilden eine Optimumkurve, deren maximaler Wert bei guter Schwefelversorgung etwas früher erreicht wird als bei S-Mangel (Abb. 47 und Tab. 47). Eine länger dauernde Periode kon-

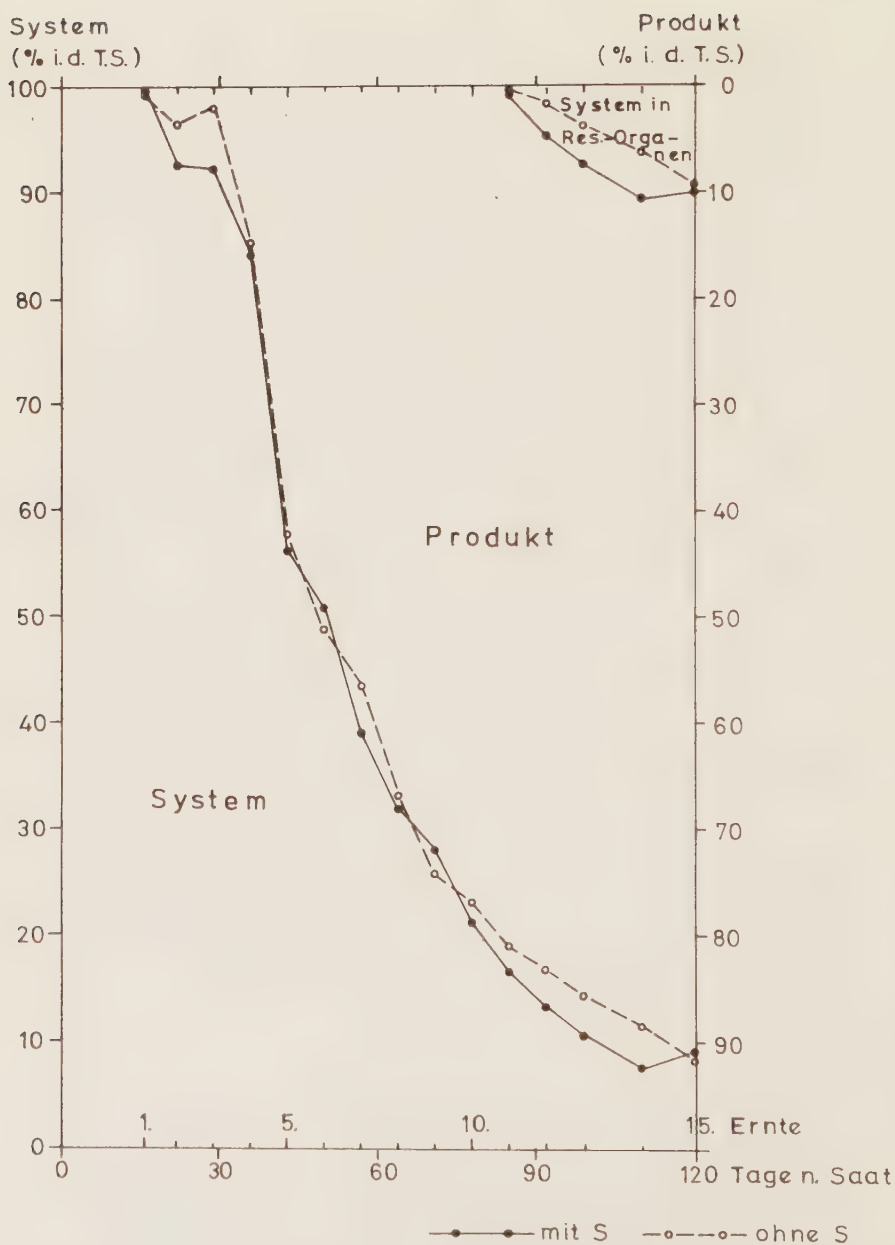


Abb. 46: Anteil (in %) von produzierendem System, von Produkt und von System in den Reserveorganen an der Gesamttrockenmasse von Ölrrettich im Verlauf der Vegeta-

stanter Systemmenge, wie sie verschiedentlich bei Sommerweizen beobachtet wurde (LACH, 1969; ZAHIRI, 1972) ist bei Ölrettich nicht ausgeprägt vorhanden.

Bis zum Beginn des generativen Wachstumsabschnittes ist die Kurvenform bei beiden S-Versorgungsstufen ähnlich, wenn auch in der Höhe deutlich voneinander abgesetzt. Danach fällt die S-Mangelkurve flacher ab. Die Erklärung hierfür geben die Kurven für Reservesystem, die erkennen lassen, daß die Umlagerung des Systems in das Speicherorgan nur sehr zögernd erfolgt.

Die unterschiedliche Schwefelversorgung wirkt sich deutlich auf die Systemmenge aus. Die Maximalwerte an produzierendem System betragen 1134 mg (+ S, am 71. Tag) und 927 mg (- S, am 78. Tag). Ähnliche Unterschiede bestehen auch beim Reservesystem mit 631 mg (+ S, am 110. Tag) und 462 mg (- S, am 120. Tag). Die Bedeutung des Schwefels für das Systemwachstum geht aus diesen Werten deutlich hervor.

Die Produktmengen (Abb. 48 und Tab. 48) folgen im Verlauf der Vegetationsperiode einer S-förmigen Wachstumskurve, die in der generativen Phase kaum noch ansteigt. Auch die Systemmengen nehmen hier insgesamt nur noch wenig zu. Die wesentlichste Zunahme des Produkts findet zwischen der 4. und 10. Ernte statt. Bereits von der 6. Ernte an wird der Einfluß der Schwefelversorgung auf das Produktwachstum deutlich, der von der 10. Ernte bis zur Reife erhalten bleibt. Die Maximalwerte für Produkt betragen 4895 mg (+ S, am 110. Tag) und 3916mg/Pflanze (- S, am 120. Tag). Davon entfällt nur ein geringer Teil auf das Korn mit 449 mg (+ S) und 176 mg/Pflanze (- S). Hier wirkt sich der S-Mangel besonders stark aus. Insgesamt ist festzustellen, daß S-Mangel sowohl System- als auch Produktmenge (je Pflanze) ungünstig beeinflußt hat.

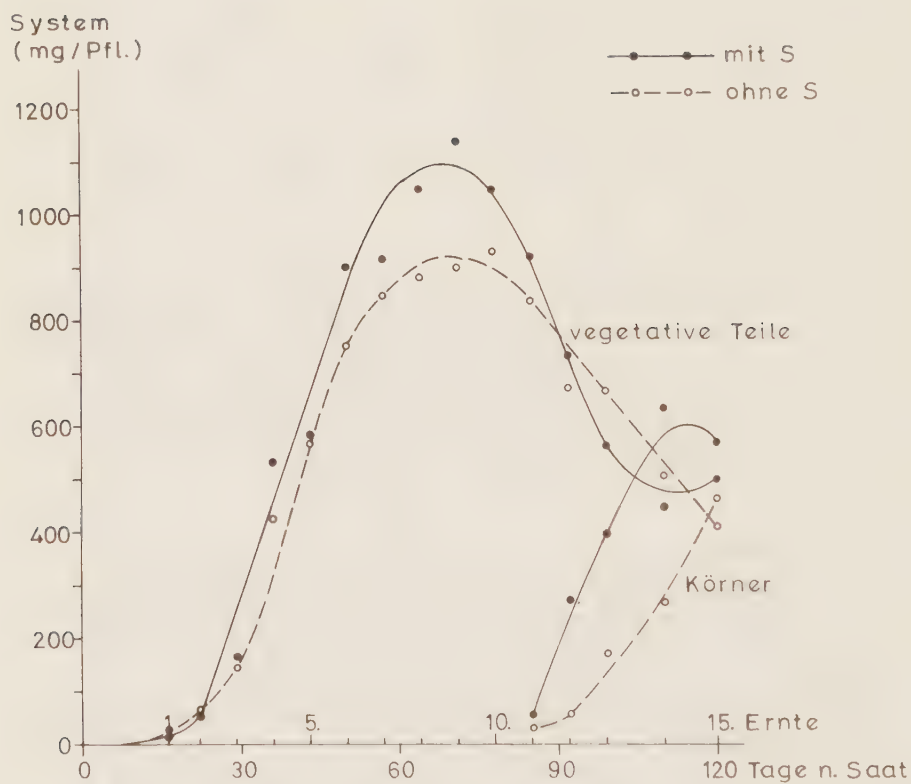


Abb. 47: Die Menge an System (mg) je Ölrettichpflanze.

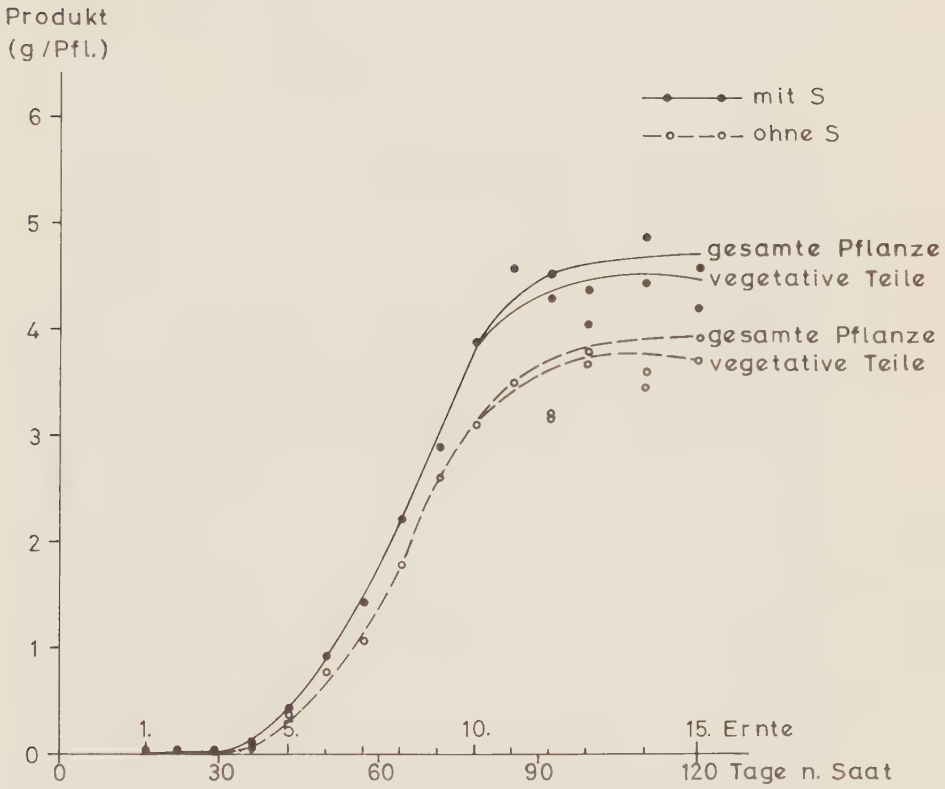


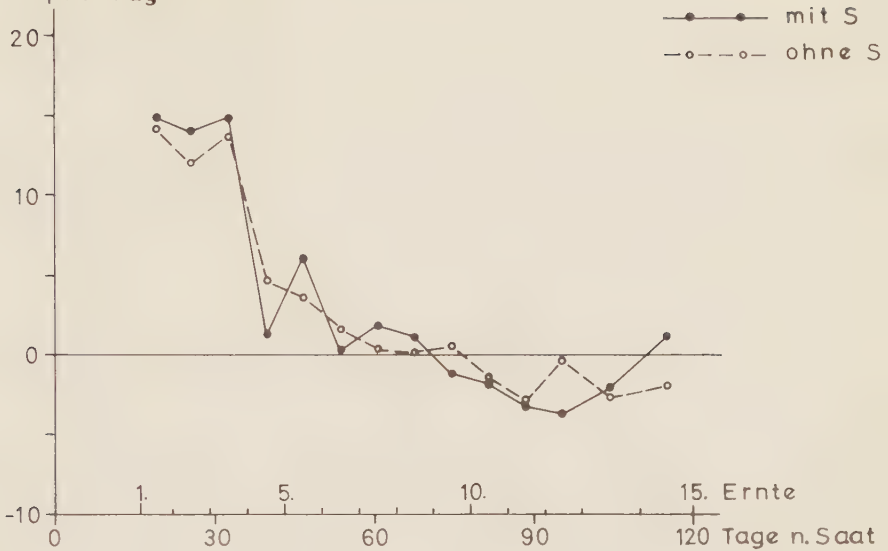
Abb. 48: Die Menge an Produkt (g) je Ölrettichpflanze.

In den Untersuchungen von ZAHIRI (1972) mit Sommerweizen führten schlechte Kalium- und schlechte Phosphatversorgung der Pflanzen zu ähnlichen Ergebnissen. Die genauere Analyse der Befunde zeigte jedoch, daß nur im Falle des Kaliummangels die Syntheseleistung des Systems für Produkt herabgesetzt war, nicht bei Phosphatmangel.

Die jeweilige Syntheseleistung des Systems für System zwischen den einzelnen Ernten ist in Abb. 49 und Tab. 47 dargestellt. Eine deutliche Überlegenheit der mit Schwefel ausreichend versorgten Pflanzen ist nur in der Periode zwischen 1. und 4. Ernte zu erkennen. Danach schneiden sich die Kurven beider Varianten mehrfach, und eine klare Überlegenheit der einen oder anderen Variante ist im positiven Bereich der Kurven nicht gegeben. Im negativen Bereich jedoch, der den Abbau des lebenden Systems und seine Umwandlung in Reservesystem charakterisiert, bestehen bei guter Systemversorgung über einen längeren Zeitraum höhere negative Werte, d. h., daß hier Abbau und Umbau intensiver vor sich gehen. Ein zutreffenderes Bild über die Syntheseleistung für System ergibt sich aus den täglichen Zuwachsraten, wenn man mehrere Ernteabschnitte zusammenfaßt (Abb. 51). Die vereinfachten Kurven zeigen, daß insbesondere zwischen 50. und 70. Tag die bessere Schwefelversorgung die Synthese für System günstig beeinflusst hat.

Auf die höhere Syntheseleistung während dieses Zeitabschnittes dürfte es im wesentlichen zurückzuführen sein, daß in den mit S gut versorgten Pflanzen bei der 11. Ernte, mit beginnender Ausbildung der Reserveorgane, sowohl in den vegetativen als auch in den generativen Organen die höheren Systemmengen vorliegen (Tab. 1, Spalten 1-3).

Syntheseleistung  
% pro Tag



Syntheseleistung des Systems der vegetativen Pflanzenteile für System in denselben Organen (ohne Körner) bei Ölrettich (in % der jeweiligen Systemmenge in den vegetativen Teilen)

Syntheseleistung  
% pro Tag

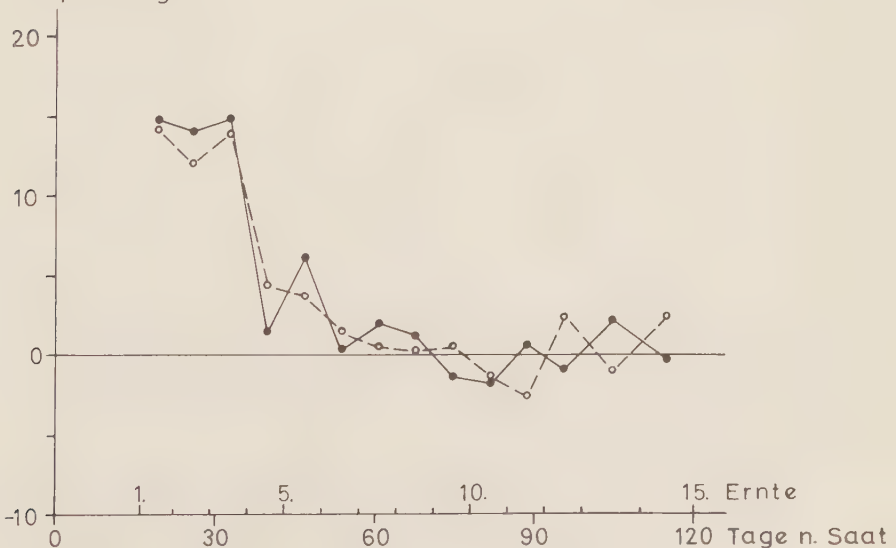
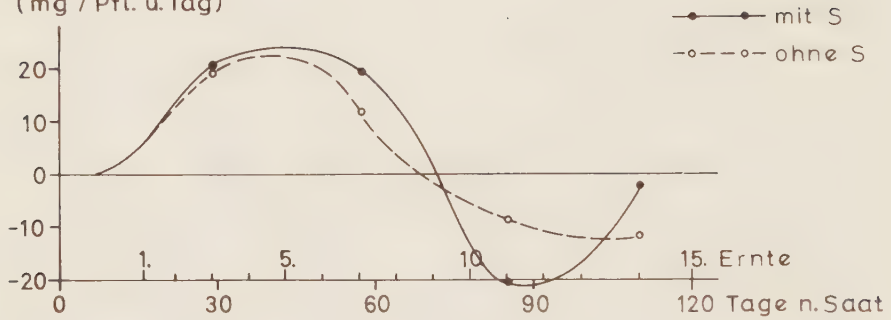


Abb. 49: Syntheseleistung des Systems der vegetativen Pflanzenteile für System in der Gesamtpflanze (einschl. Körner) bei Ölrettich (in % der jeweiligen Systemmenge in den vegetativen Teilen).

Systemzuwachs  
(mg / Pfl. u.Tag)



Produktzuwachs  
(mg / Pfl. u. Tag)

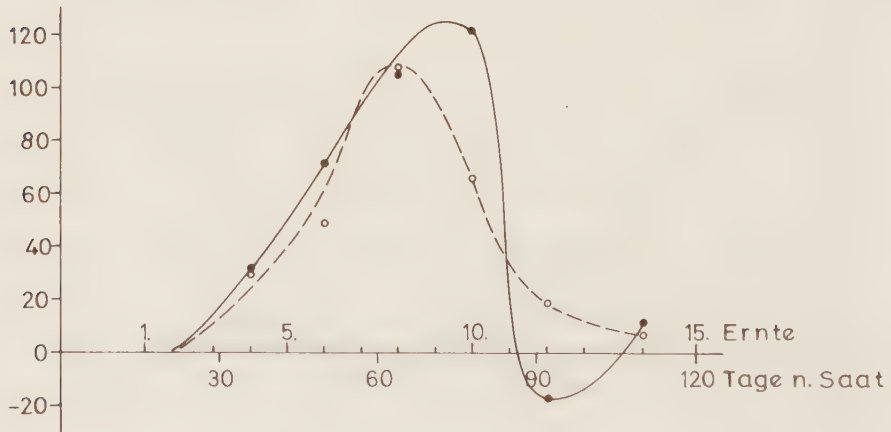


Abb. 51: System- und Produktzuwachsrate (mg/Pfl. und Tag) bei Ölrettich im Verlauf der Vegetationsperiode.

Tab. i: Veränderungen in der Menge des Systems in den vegetativen Teilen und in den Körnern zwischen der 11. Ernte und Vollreife.

| V a r i a n t e                                                                                     | 1     | 2    | 3     | 4     | 5     | 6      | 7    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------|-------|-------|-------|--------|------|
| mg System in den veg. Teilen bei der 11. Ernte                                                      |       |      |       |       |       |        |      |
| mg System in den Körnern bei der 11. Ernte                                                          |       |      |       |       |       |        |      |
| Summe von System in den veg. Teilen u. in den Körnern bei der 11. Ernte                             |       |      |       |       |       |        |      |
| mg System in den veg. Teilen bei Versuchsende (15. Ernte)                                           |       |      |       |       |       |        |      |
| mg System in den Körnern bei Versuchsende (15. Ernte)                                               |       |      |       |       |       |        |      |
| Summe von System in den veg. Teilen u. in den Körnern bei Versuchsende (15. Ernte)                  |       |      |       |       |       |        |      |
| Differenz von Spalten 6 und 3 Zuwachs (mg/pfl.) an System in Körnern zwischen der 11. und 15. Ernte |       |      |       |       |       |        |      |
| mit S                                                                                               | 921,1 | 51,6 | 972,7 | 496,6 | 566,1 | 1062,7 | 90,0 |
| ohne S                                                                                              | 831,5 | 34,0 | 865,5 | 410,0 | 461,7 | 871,7  | 6,2  |

Das Gleiche gilt für die letzte Ernte (Spalten 4-6). In dieser Periode des generativen Wachstums hat bei ausreichender S-Versorgung die Systemmenge noch um fast 10 % zugenommen, bei S-Mangel ist sie praktisch unverändert geblieben (Spalte 7). Diese späte Synthese für System kommt in den entsprechenden Kurven (Abb. 49), die das Reservesystem mit in die Syntheseleistung des produzierenden Systems einbeziehen, ebenfalls nicht klar zum Ausdruck.

Bei Versuchsende liegen sowohl bei den mit Schwefel gut versorgten als auch bei den S-Mangelpflanzen 53 % der ge-

samen Systemmenge in den Samen vor, 47 % in den vegetativen Organen. Von Störungen in der Umlagerung des Systems aus den vegetativen in die generativen Organe, wie sie zu Beginn der generativen Entwicklung zu beobachten sind, kann bei der Reife also nicht mehr gesprochen werden.

Die Syntheseleistung des Systems für Produkt beginnt auch bei Ölrettich mit niedrigen Werten (Abb. 50 und Tab. 48). Sie nimmt von der 2. bis zur 4. Ernte schnell, danach nur noch langsam zu und erreicht ihre höchsten Werte bei der 8. (- S) bzw. bei der 9. Ernte (+ S). Nach der 11. Ernte ist die Syntheseleistung für Produkt z. T. negativ, z. T. positiv. Das bedeutet, daß nach der 11. Ernte keine nennenswerte Synthese für Produkt mehr stattgefunden haben kann.

In der Jugendentwicklung ist bei ausreichender Schwefelversorgung die Syntheseleistung für Produkt leicht erhöht.

Die Wirkung der Schwefeldüngung auf die Produktsynthese wird besonders deutlich aus den täglichen Zuwachsraten für Produkt (Abb. 51 und Tab. 48). Den Kurven sind die Mittelwerte der täglichen Zuwachsraten von je 2 Ernteperioden zugrunde gelegt. Es wird einmal die unterschiedliche Höhe der maximalen Zuwachsraten in Abhängigkeit von der Schwefelversorgung deutlich, zum anderen, insbesondere bei ausreichender Schwefelversorgung, die Einstellung der Produktsynthese innerhalb kürzester Zeit, etwa um die 11. Ernte. Bei Schwefelmangel wird die maximale Produktsynthese früher erreicht, und die Zuwachsraten nehmen nicht so rapide ab. Tabelle 49 zeigt, daß bei Schwefelmangel die Einlagerung von Produkt in die generativen Organe stark gehemmt ist - viel ausgeprägter als es beim System der Fall ist - und auch bis zur Reife anhält.

Bei der letzten Ernte sind in den Samen bei ausreichender Schwefelversorgung 8,9 % des Produktes der gesamten Pflanze enthalten, bei Schwefelmangel sind es nur 2,2 %. Wieweit der geringe Produktanteil in den Samen der Schwefelmangel-

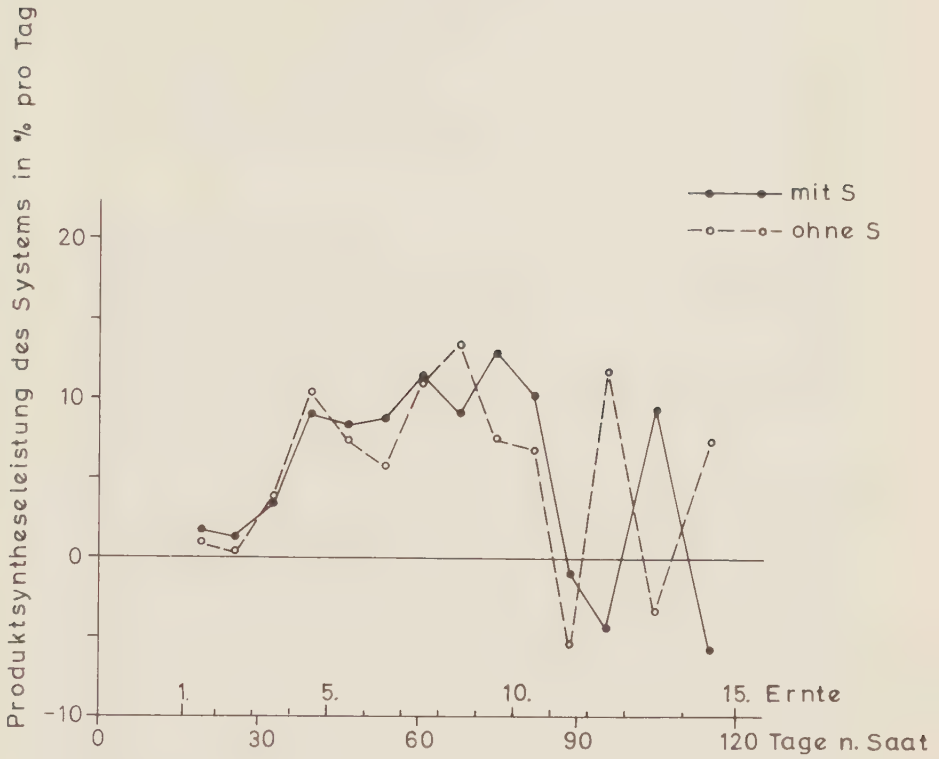


Abb. 50: Syntheseleistung des Systems für Produkt in der Gesamtpflanze (einschl. Körner) bei Ölrettich (in % der jeweiligen Systemmenge in den vegetativen Teilen).

pflanzen auf das Fehlen von zum Produkt zu rechnenden sekundären Inhaltsstoffen, den Senfölen, beruht, kann nicht genau angegeben werden. Die gesamte Differenz dürfte hiermit aber nicht zu erklären sein, so daß eine echte Hemmung des Transportes und der Ablagerung von Produkt als Folge des Schwefelmangels bei Ölrettich bestehen muß.

Die vorliegenden Befunde geben keine sicheren Hinweise dafür, daß bei Schwefelmangel die Syntheseleistung des Systems für Produkt, d. h. die jeweils von einer bestimmten Systemmenge produzierte Produktmenge, beeinträchtigt worden ist. So ist bei Versuchsende in den Mangelpflanzen die Systemmenge um 18 % reduziert, die Produktmenge um 15 %. Bei früheren Ernten ist zwar in einigen Fällen die Produktmenge stärker reduziert als die Systemmenge, ein einheitlicher Trend besteht aber nicht. Daß in den Schwefelmangelpflanzen System- und Produktmenge in etwa gleichem Maße betroffen werden, kann nur so gedeutet werden, daß bei Schwefelmangel zwar die Synthese von System gehemmt gewesen ist, daß dieses unter S-Mangelbedingungen erzeugte System jedoch in gleicher Weise zur Produktsynthese befähigt ist wie das System normaler Pflanzen.

Eine exakte Beurteilung der Syntheseleistung des Systems für Produkt bei einer Pflanze wie Ölrettich wird erschwert durch die Tatsache, daß das Produkt in den generativen Organen zum großen Teil aus Fett (Rohfett) besteht. Auch derjenige Teil des Produktes, der mit Reinprotein zusammen als zum System gehörend angesehen wird, dürfte überwiegend aus Fett bestehen. Es fragt sich, ob in einem solchen Fall die Syntheseleistung des Systems für Produkt nicht entsprechend dem energetischen Wert des erzeugten Produktes beurteilt werden muß. Immerhin kann Ölrettichsamen bis zu 50 % Rohfett enthalten; das würde wesentlich höhere Werte für die Syntheseleistung ergeben.

Die Berücksichtigung dieser Verhältnisse könnte auch in Abb. 51 den ungewöhnlichen Verlauf der Kurve für Produktzuwachsrate bei normaler Schwefelversorgung erklären, die bei Beginn des generativen Wachstums unvermittelt von hohen positiven auf negative Werte absinken. Diese negativen Werte könnten dadurch zustande kommen, daß größere Mengen Produkt vom Kohlenhydrattyp zum Aufbau (einer kleineren Menge) von Produkt vom Typ der energiereicheren Fette verbraucht worden sind. Der Kurvenverlauf bei den S-Mangelpflanzen läßt dagegen vermuten, daß eine intensive Fettsynthese nicht stattgefunden hat. Die Menge des zur Verfügung stehenden Analysenmaterials war nicht ausreichend, um den Verlauf der Fettbildung in den Samen verfolgen zu können.

Auf die Bedeutung der Umsteuerung des produzierenden Systems von vorwiegender System- auf überwiegende Produktsynthese wurde bereits hingewiesen. In vorliegendem Versuch mit Ölrettich wird dieser Zeitpunkt etwa am 38. Tag erreicht. Zu diesem Termin betrug die Syntheseleistung des Systems sowohl für System als auch für Produkt etwa 7 %. Danach ist die Produktsynthese höher als die Systemsynthese. Ein sicherer Einfluß der Schwefelversorgung auf den Termin der Umsteuerung ist nicht erkennbar.

Die Auswirkungen des Schwefelmangels auf System- und Produktwachstum stimmen weitgehend mit den von ZAHIRI (1972) für Phosphatmangel gefundenen Ergebnissen überein. Mangel an beiden Nährstoffen beeinträchtigt die Syntheseleistung des Systems für System, nicht aber für Produkt. Auch auf den Termin für die Umsteuerung des produzierenden Systems haben beide Elemente keinen Einfluß.

Die Bedeutung des Schwefels für System- und Produktwachstum bei Ölrettich kann wie folgt zusammengefaßt werden:

1. Verminderung der Syntheseleistung des Systems für System und gehemmte Systemsynthese während der vegetativen und generativen Entwicklung.
2. Verteilung und Umlagerung der bei Schwefelmangel zwar reduzierten Systemmenge auf vegetative und generative Organe werden offenbar nicht gestört.
3. Die Syntheseleistung des Systems für Produkt erscheint nicht beeinträchtigt. Das wird daraus geschlossen, daß bei Schwefelmangel System- und Produktwachstum in annähernd gleichem Umfang verringert werden.
4. Schwefelmangel hemmt die Umlagerung von Produkt aus den vegetativen in die generativen Organe.
5. Es besteht kein sicherer Einfluß der Schwefelversorgung auf den Termin der Umsteuerung von vorwiegender System- auf Überwiegende Produktsynthese.

Ein Vergleich der bei Sommerweizen und Ölrettich erhaltenen Befunde wird erschwert durch das unterschiedliche Schwefelbedürfnis beider Pflanzen, das dazu geführt hat, daß trotz gleichen Schwefelangebotes im Boden bei Weizen nur latenter, bei Ölrettich starker Schwefelmangel aufgetreten ist.

Bei beiden Pflanzen stimmen die Befunde hinsichtlich einer gehemmten Syntheseleistung des Systems für System bei S-Mangel überein, ebenfalls besteht Übereinstimmung dahingehend, daß der Zeitpunkt der Systemumsteuerung nicht verändert wird. Auch der geringe Einfluß der Schwefelversorgung auf die Syntheseleistung des Systems für Produkt ist bei beiden Pflanzen ähnlich. Unterschiede bestehen hinsichtlich der Umlagerung von System und Produkt in die generativen Organe. Während Schwefelmangel bei Weizen die Umlagerung und Einlagerung des Systems in den Samen beeinträchtigt, ist bei Ölrettich die Verlagerung von Produkt

in die Samen betroffen. Möglicherweise spielt hierbei die unterschiedliche Zusammensetzung des Produktes in den generativen Organen beider Pflanzen eine Rolle.

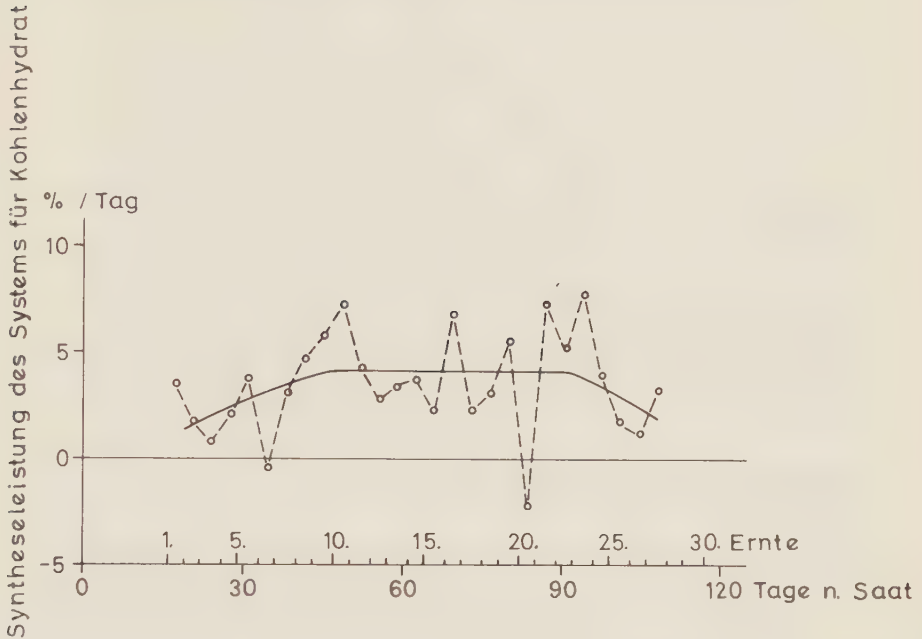


Abb. 19: Syntheseleistung des Systems für Kohlenhydrate (in der Gesamtpflanze ohne Wurzeln) bei Ackerbohnen (in % der jeweiligen Systemmenge in den vegetativen Pflanzenteilen)

## ZUSAMMENFASSUNG

Zur Fortführung der bisherigen Untersuchungen über System- und Produktwachstum bei landwirtschaftlichen Kulturpflanzen wurden Gefäßversuche mit Ackerbohnen, Sommerweizen und Ölrettich durchgeführt. Der Versuch mit Ackerbohnen ist der erste, der mit dieser Fragestellung bei einer Leguminose angelegt worden ist, also bei einer Pflanze, bei der während der gesamten Vegetationsperiode mit einer optimalen Stickstoffversorgung gerechnet werden kann. Die Versuche mit Sommerweizen und Ölrettich stellen eine Fortführung und Erweiterung früherer Arbeiten dar insofern, als hier der Einfluß des Nährstoffes Schwefel auf System- und Produktwachstum untersucht werden sollte, nachdem frühere Arbeiten dieses Institutes sich mit der Bedeutung der Elemente Stickstoff, Phosphor, Kalium und Kupfer für System- und Produktwachstums bei Sommerweizen beschäftigt hatten.

Die Untersuchungen an Ackerbohnen führten zu folgenden Ergebnissen:

- 1.) Die im Vergleich mit Gramineen hohen Reinproteingehalte in sämtlichen Pflanzenorganen lassen das Systemwachstum stärker in den Vordergrund treten als das Produktwachstum.
- 2.) Die Periode vorherrschenden Systemwachstums dauert bis etwa 50 Tage nach der Saat an.
- 3.) Das produzierende System in den vegetativen Pflanzenteilen nimmt bis zum 100. Wachstumstag zu.
- 4.) Eine bei Weizen ausgeprägte Periode konstanter Systemmengen vor Beginn des generativen Wachstums ist bei Ackerbohnen nur angedeutet (5 Tage gegenüber 30 Tagen bei Weizen).
- 5.) In den Blättern überwiegt der System- den Produktanteil bis zum 110. Wachstumstag.

- 6.) Auch während des generativen Wachstumsabschnittes findet noch eine echte Synthese von System statt, da die Zunahme von Reservesystem größer ist als die Abnahme von System in den vegetativen Organen.
- 7.) Die Menge an Produkt steigt bis zum 113. Tag fast linear an. Sein Anteil am Reserveorgan bei der Reife mit 18,6 % ist relativ gering.
- 8.) Die Umsteuerung des Stoffwechsels im Sinne vorwiegenden Produktwachstums findet um den 34. Wachstumstag statt.
- 9.) Im generativen Wachstumsabschnitt, ab 107. Tag, überwiegt, im Zusammenhang mit der Synthese des Reservesystems und der optimalen Zusammensetzung des Reserveorgans, erneut die Systemsynthese.
- 10.) Die Syntheseleistung des Systems für System ist bei Ackerbohnen höher als bei Sommerweizen.
- 11.) Die durchschnittliche Syntheseleistung des Systems für Produkt ist bei Ackerbohnen etwa halb so hoch wie bei Weizen.
- 12.) Die Zunahme der hydrolysierbaren Kohlenhydrate im Verlauf der Entwicklung geht parallel mit der Zunahme des Produkts, so daß auch bei Ackerbohnen die Kohlenhydrate als wesentlicher Bestandteil des Produktes anzusehen sind.

Die Versuche mit Sommerweizen und Ölrettich verliefen insofern nicht voll befriedigend, als bei Weizen nur latenter Schwefelmangel auftrat, bei Ölrettich dagegen starker S-Mangel. Es wurde hierdurch der Vergleich der Schwefelwirkung bei beiden Pflanzen erschwert.

Im einzelnen ergaben sich folgende Wirkungen der Schwefelversorgung auf System- und Produktwachstum:

a. Weizen

1. Schwache Hemmung der Syntheseleistung des Systems für System während der vegetativen und generativen Entwicklung.
2. Deutliche Hemmung der Umlagerung von System aus den vegetativen in die generativen Organe.
3. Schwach gehemmte Produktsynthese, eher im vegetativen als im generativen Wachstumsabschnitt.
4. Keine Wirkung auf die Umlagerung von Produkt aus vegetativen in generative Organe.
5. Kein sicherer Einfluß auf den Zeitpunkt der Umsteuerung von vorwiegender Systemsynthese auf Überwiegende Produktsynthese.

b. Ölrettich

1. Verminderung der Syntheseleistung des Systems für System und gehemmte Systemsynthese während der vegetativen und generativen Entwicklung.
2. Kein Einfluß auf Verteilung und Umlagerung der bei Schwefelmangel reduzierten Systemmenge auf vegetative und generative Organe.
3. Offensichtlich keine Beeinträchtigung der Syntheseleistung des Systems für Produkt. Das wird daraus geschlossen, daß bei Schwefelmangel System- und Produktwachstum in annähernd gleichem Umfang verringert werden.

4. Gehemmte Umlagerung von Produkt aus den vegetativen in die generativen Organe.
5. Kein sicherer Einfluß der Schwefelversorgung auf den Termin der Umsteuerung von vorwiegender System- auf Überwiegende Produktsynthese.

Als Folge des Schwefelmangels ergibt sich somit bei beiden Pflanzen Übereinstimmend:

1. Niedrigere Syntheseleistung des Systems für System.
2. Kein nennenswerter Einfluß auf die Syntheseleistung des Systems für Produkt.
3. Kein Einfluß auf den Termin der Umstellung des Systems von vorherrschender System- auf Überwiegende Produktsynthese.

Unterschiedliche Folgen hat Schwefelmangel insbesondere bei der Umlagerung und Einlagerung von System und Produkt in die Reserveorgane:

1. Gehemmte Systemeinelagerung in die Reserveorgane bei Sommerweizen.
2. Gehemmte Produkteinlagerung in die Reserveorgane bei Ölrettich.

Die Schwierigkeiten bei der Ermittlung der tatsächlichen Syntheseleistung für Produkt bei einer Ölpflanze werden diskutiert.

LITERATURVERZEICHNIS

- Alvin, C.W., J.B. Park and R.C. Burrell 1942: A study of the chemical composition of soybeans during maturation. *Plant Physiol.* 17, 289-295.
- Anderson, A.J. and D. Spencer 1950a: Sulphur in nitrogen metabolism of legumes and non-legumes. *Australian J.Sci.Res.* 133, 431-449.
- Anderson, A.J. and D. Spencer 1950b: Molybdenum in nitrogen metabolism of legumes and non-legumes. *Australian J.Sci.Res.* 133, 414-430.
- Arnold, A. 1958: Einleitung und Übersicht. In: *Handbuch der Pflanzenphysiologie*, Bd. VI, 1-9, Springer-Verlag, Berlin.
- Aronoff, S. 1955: Translocation from soybean leaves. *Plant Physiol.* 30, 184-185.
- Asana, R.D. and V.S.Mani 1950: Studies in physiological analysis of yield. I. Varietal differences in photosynthesis on the leaf system and ear of wheat. *Physiol. Plantarum* 3, 22-39.
- Asana, R.D. and V.S.Mani 1955: Studies in physiological analysis of yield. II. Further observations on varietal differences in photosynthesis in leaf system and ear of wheat. *Physiol. Plantarum* 8, 8-19.

- Asana, R.D. and A.D.Saini 1958: Studies in physiological analysis of yield. IV. The influence of soil drought on grain development, photosynthetic surface and water content of wheat. *Physiol. Plantarum* 11, 666-674.
- Asana, R.D., A.D. Saini and D. Ray 1958: Studies in physiological analysis of yield. III. The rate of grain development in wheat in relation to photosynthetic surface and soil moisture. *Physiol. Plantarum* 11, 655-665.
- Baley, K. 1957: Protein structure and biological activity. *Nature* 180, 833-835.
- Belikov, I.F. 1955a: Dokl. Akad. Nauk S.S.S.R. (N.S.) 102, 379-381 (Chem. Abst. 49, 14916, 1955).
- Belikov, I.F. 1955b: Fiziol. Rastenii Akad. Nauk S.S.S.R. 2, 354-357 (Chem. Abst. 49, 16080, 1955).
- Belikov, I.F. 1957: Dokl. Akad. Nauk S.S.S.R. (N.S.) 117, 272-273 (Biol. Abst. 15397, 1959).
- Bensin, Th. 1950: Die Phytochemie des Schwefels. *Advances in Enzymol.* 10, 223 (z.n.K.Mengel, Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze; Gustav Fischer Verlag, Jena 1968).
- Biddulph, S.F. 1956: Visual indications of S<sup>35</sup> and P<sup>32</sup> translocation in the phloem. *Amer.J.Bot.* 43, 143-148.

- Biddulph, O., S.F. Biddulph, R. Cory and H. Koontz 1958: Circulation patterns for phosphorus, sulfur and calcium in the bean plant. *Plant Physiol.* 33, 293-300.
- Biddulph, O., R. Cory and S.F. Biddulph 1956: The absorption and translocation of sulfur in red kidney bean. *Plant Physiol.* 31, 28-33.
- Brown, R.H. and R.E. Blaser 1965: Relationship between reserve carbohydrate accumulation and growth rate in orchard grass (*Dactylis glomerata*) and tall fescue (*Festuca arundinacea*). *Crop Sci.* 5, 577-582.
- Brown, R.H. and R.E. Blaser 1970: Soil moisture and temperature effects on growth and soluble carbohydrates of orchardgrass (*Dactylis glomerata*). *Crop Sci.* 10, 213-216.
- Coleman, R.G. 1957: The effect of sulphur deficiency on the free amino acids of some plants. *Australian J. Biol. Sci.* 10, 50-56.
- Crössmann, G. 1957: Standort und Stoffproduktion. *Z. Acker- und Pflanzenbau*, 125, 232-253.
- Deloch, H.W. 1960: Über die analytische Bestimmung des Schwefels in biochemischen Substanzen und die Schwefelaufnahme durch landwirtschaftliche Kulturpflanzen in Abhängigkeit von der Düngung. Dissertation, Justus Liebig-Universität Gießen.

- Dijkshoorn, W., J.E.M.Lampe 1960: A method of diagnosing the sulphur nutrition status of herbage. Plant and Soil 13, 227-240.
- Eaton, S.V. 1935: Influence of sulphur deficiency on the metabolism of the soybean. Bot. Gaz. 97, 68-100.
- Eaton, S.V. 1941: Influence of sulphur deficiency on metabolism of the sunflower. Bot. Gaz. 102, 533-556.
- Eaton, S.V. 1942: Influence of sulphur deficiency on metabolism of black mustard. Bot. Gaz. 104, 306-315.
- Eaton, S.V. 1951: Effects of sulphur deficiency on the growth and metabolism of the tomato. Bot. Gaz. 112, 300-307.
- El-Ghamrawy, N. 1969: The effect of Orobanche parasitism on soluble sugars and some minerals of Vicia faba. M.Sc.Thesis, Fac. Agric., Cairo Univ., Cairo.
- Erdman, L.W. 1929: The percentage of nitrogen in different parts of soybean plants at different stages of growth. J.Amer.Soc.Agron. 21, 361-366.

- Erdman, L.W. and U.M.Means 1952: Use of total yield for predicting nitrogen content of inoculated legumes grown in sand cultures. *Soil Sci.* 73, 231-235.
- Ergle, D.R. 1953a: Effects of low nitrogen and sulphur supply on their accumulation in the plant. *Bot. Gaz.* 14, 417-426.
- Ergle, D.R. 1953b: Utilization of storage sulphur by cotton and the effect on growth and chloroplast pigment. *Bot. Gaz.* 115, 225-234.
- Faller, N., K. Herwig und H. Kühn 1970: Die Aufnahme von Schwefeldioxyd ( $S^{35}O_2$ ) aus der Luft. I. Einfluß auf den pflanzlichen Ertrag. *Plant and Soil* 33, 177-191.
- Hammond, L.C., C.A.Black and A.G. Norman 1951: Iowa Agric.Exp.Sta.Res.Bull. No. 384 (c.f.A.J.Ohlgoge, Mineral nutrition of soybeans. *Advances in Agronomy* 12, 230-261, 1960).
- Hanson, E.A., B.S. Barrien 1941: Relations between protein nitrogen, protein sulfur and chlorophyll in leaves of Sudan grass. *Australian J.Exp.Biol.Med.Sci.* 19, 231. (z.n.K.Mengel, Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze; Gustav Fischer Verlag, Jena 1968).
- Hehl, G. 1971: Der Einfluß der Ernährung und des physiologischen Alters auf den Kohlenhydratgehalt sowie

die einzelnen Kohlenhydratfraktionen bei einigen Gramineen und Leguminosen. Dissertation, Justus Liebig-Universität Gießen.

- Henze, H. 1971: Über den Einfluß unterschiedlicher Kali-Ernährung auf Ertrag, Mineralstoffgehalt und Aktivität von Peroxidase und Katalase bei Grünkohl. Diplomarbeit, Justus Liebig-Universität Gießen.
- Hewitt, E.J. 1963: Essential nutrient elements for plants. In: Plant Physiology a Treatise (F.C. Steward, ed.), Vol. III, pp. 137-361, Academic Press, New York.
- Jeremias, K. 1966: Der Einfluß der Bodentrockenheit auf den Zuckergehalt vegetativer Pflanzenteile. Z. Pflanzenphysiol. 54, 237-239.
- Kaplan, R.W. 1968: Molekularbiologische Probleme der Lebensentstehung. Die Naturwissenschaften 55, 97-103.
- Kylin, A. 1953: The uptake and metabolism of sulfate by deseeded wheat plants. Physiol. Plantarum 6, 775-795.
- Lach, G. 1968: Das Verhältnis von lebendem System und Produkt in Ökorettich im Verlauf der Vegetationsperiode. Diplomarbeit, Justus Liebig-Universität Gießen.

- Lach, G. 1969: Der Einfluß einer variierten Stickstoffernährung und variierten Temperaturen auf den Eiweißhaushalt des Sommerweizens. Dissertation, Justus Liebig-Universität Gießen.
- Lach, G. 1970: System und Produkt im Verlauf der Vegetation bei Sommerweizen in Abhängigkeit von der Stickstoffernährung. Z.Pflanzenernähr. Bodenkde. 127, 242-251.
- Lach, G. 1971: Der Einfluß variierten Vegetationstemperaturen auf das Systemwachstum des Sommerweizens. Z. Pflanzenernähr. Bodenkde. 129, 132-141.
- Lanen, H.C. and W.C.Hall 1952: The effect of applied sugars, light intensity, and temperature upon the chemical defoliation of cotton. Science 116, 427-428.
- Linser, H. 1952: Das Problem des Todes. Hollinek Verlag, Wien.
- Linser, H. 1956: Funktioneller Bau und Stoffwechsel des lebenden Systems. In: Grundlagen der Vitalchemie, Bd.5, Urban und Schwarzenberg Verlag, Wien.
- Linser, H. 1964: Vom biologischen Phänomen des Wachstums. Landwirtsch.Forsch. Sonderh. 18, 48-62.
- Linser, H. 1967: Das Wachstum lebender Systeme. Umschau in Wissenschaft und Technik 12, 381-387.

- Linser, H. 1967a: Die Versorgung der Pflanzen mit Schwefel. Kali-Briefe, Fachgebiet 2, Folge 4, März.
- Linser, H. 1969: Wachstum und Ertragsbildung. In: Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung, Bd. I, Springer-Verlag, Wien.
- Linser, H. 1972: Physiologie der Ertragsbildung. Vortrag anlässlich der 100-Jahresfeier der Hochschule für Bodenkultur, Wien.
- Linser, H., H. Kühn und R. Marquard 1969: Der Einfluß von Schwefelmangel auf die Senfölsynthese bei Kapuzinerkresse (Tropaeolum majus) und Ölrettich (Rhaphanus oleiferus). Z.Pflanzenphysiol. 60, 450-456.
- Linser, H., H. Kühn und G. Schlögl 1964: Eine Feldmethode zur Unterscheidung von Schwefel- und Stickstoffmangel. V. Intern.Symp. Agrochimica, Palermo.
- Linser, H., G. Lach und L. Titze 1968: Systemwachstum und Produktwachstum bei Weizen und Ölrettich. Z.Pflanzenernähr.Bodenkde. 121, 199-211.
- Linser, H. und L.Titze-Bettner 1971: Phosphataufnahme und System-(Protein-)Syntheseleistung bei Sommerweizen. Z.Pflanzenernähr.Bodenkde. 128, 235-242.
- Linser, H. und F.A. Zeid 1972: System und Produkt in der Entwicklung von Daucus carota. Z. Pflanzenernähr.Bodenkde. 131, 273-288.

- Lyon, C. and C.R. Garcia 1944: Anatomical responses of tomato stems to variations in the macronutrient anion supply. Bot.Gaz. 105, 394-405.
- Marschner, H. und G.Michael 1960: Untersuchungen über Schwefelabscheidung und Sulfataustausch an Weizenwurzeln. Z.Pflanzenernähr.Düng.Bodenkde.91, 29-44.
- Mayr, H. H. 1969: Bau- und Inhaltsstoffe von Kulturpflanzen (Klassifizierung, Vorkommen, Bedeutung). In: Handbuch der Pflanzenernähr. u. Düngung, Bd. I, (I), 51-61, Springer-Verlag, Wien.
- McMurty, J.E., Jr. 1941: Plant nutrient deficiency in tobacco. American Society of Agronomy and National Fertilizer Society, Washington, D.C., pp. 15-24.
- McMurty, J.E., Jr. 1948: Visual symptoms of malnutrition in plants. American Potash Institute, Washington, D.C., Chapter 8, pp. 231-289.
- Mengel, K. 1968: Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. Gustav Fischer-Verlag, Jena.
- Mertz, E.T. and H. Matsumoto 1956: Further studies on the amino acids and proteins of sulfur deficient alfalfa. Arch.Biochem. Biophys. 63, 50-63.
- Mertz, E.T., V.L.Singleton and C.L. Garey 1952: The effect of sulphur deficiency on the amino acids of alfalfa. Arch.Biochem. 38, 139-145.

- Nagiub, M.I. 1962: Schnellmethode zur kolorimetrischen Bestimmung freier und gebundener Zucker in Pflanzenextrakten. Z. Zucker 15, 451-453.
- Nagiub, M.I. 1963: Kolorimetrische Trennung von Pflanzenpolysacchariden. Z. Zucker 16, 34-37.
- Nagiub, M.I. 1964: Effect of Sevin (N-methyl-1-naphthyl carbamate) on the carbohydrate and nitrogen metabolism during the germination of cotton seeds. Indian J. Exp. Biol. 2, 149-152.
- Nason, A., and W.D. McElroy 1963: Modes of action of the essential mineral elements. In: Plant Physiology a Treatise (F.C. Steward, ed.), Vol. III, pp. 451-537.
- Nehring, K. 1960: Agrikulturchemische Untersuchungsmethoden für Dünge- und Futtermittel, Böden und Milch. Verlag Paul Parey, Hamburg.
- Nelson, N. 1944: A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. J.Biol.Chem. 153, 375-380.
- Ohlrogge, A.J. 1960: Mineral nutrition of soybeans. Advances in Agronomy 12, 230-261.
- Olson, T. 1957: Absorption of sulfurdioxide from the atmosphere by cotton plants. Soil Sci. 84, 107-111.

- Price, C.A. and M.R. Taylor 1957: Sulfhydryls in plants. Plant Physiol. 32, 525-529.
- Raafat, A. 1967: Advanced plant physiology; Cell physiology. Post-graduate Lectures, Fac. Agric., Ain Shams Univ., Cairo.
- Reynolds, J.H. and D. Smith 1962: Trend of carbohydrate reserves in alfalfa, smooth brome grass, and timothy grown under various cutting schedules. Crop Sci. 2, 333-336.
- Saalbach, E., G. Kessen und G.K. Judel 1961: Über den Einfluß von Schwefel auf den Ertrag und die Eiweißqualität von Futterpflanzen. Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkde. 93, 18-26.
- Salama, S.A. 1955: Studies on the parasitism of Orobanche sp. on bean (Vicia faba L.). M.Sc. Thesis, Fac. Agric., Ain Shams Univ., Cairo.
- Scharrer, K. und J. Jung 1955: Zur Bestimmung des Gesamt-, Protein- und Sulfatschwefels in pflanzlichen Futtermitteln. Z. Tierernähr. Futtermittel 10, 25.
- Scharrer, K. und K. Mengel 1969: Ernährungsphysiologie der Kulturpflanzen (Schwefel). Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung. Bd. I (I), 417-424, Springer-Verlag, Wien.

- Smith, D., G.M. Paulsen and C.A. Raguse 1964: Extraction of total available carbohydrates from grass and legume tissue. *Plant Physiol.* 39, 960-962.
- Steger, H., K. Kasdorf und F. Püschel 1961: Über Erträge verschiedener Mais-sorten und die Veränderung in der Zusammensetzung während ihres Wachstums. *Z. Landw. Ver-suchs- und Untersuchungswesen* 7, 58-73.
- Sullivan, J.T. and V.G. Sprague 1949: The effect of temperature on the growth and composition of the stubble and roots of perennial ryegrass. *Plant Physiol.* 24, 706-719.
- Sullivan, J.T. and V.G. Sprague 1953: Reserve carbohydrates in orchard-grass cut for hay. *Plant Physiol* 28, 304-313.
- Titze, L. 1968: Das Verhältnis von lebendem System und Produkt in der Wei-zenpflanze im Laufe einer Vege-tationsperiode. Diplomarbeit, Justus Liebig-Universität Gießen.
- Titze, L. 1969: Die Entwicklung des Rohfett-, Rohfaser-, Kohlenhydrat- und Mineralstoffgehaltes sowie der Phosphor-Fraktionen im Verlaufe einer Vegetationsperiode von Sommerweizen. Dissertation, Justus Liebig-Universität Gießen.
- Togari, Y., Y. Kato and M. Ebata 1955: *Crop Sci. Soc. Japan Proc.* 24, 103-107 (c.f. A.J. Ohlrogge, Mineral nutrition of soybeans.

- Advances in Agronomy 12, 230-261, 1960).
- Webster, J.E. 1928: Nitrogen metabolism in the soybean. Plant Physiol. 3, 31-43.
- Wedin, W.F. and B.E. Struckmeyer 1958: Effects of chloride and sulphate ions on the growth, leaf burn and anatomical structure of tobacco (Nicotiana tabacum L.). Plant Physiol. 33, 133-139.
- Young, L.C.T. and E.E. Conn 1956: The reduction and oxidation of glutathione by plant mitochondria. Plant Physiol. 31, 205-211.
- Zahiri, A. 1972: Einfluß einer variierten Phosphat-, Kalium- und Kupferversorgung auf System- und Produktwachstum bei Sommerweizen. Dissertation, Justus Liebig-Universität Gießen.
- Zeid, F.A. und H.Kühn 1973: Protein-Kohlenhydrat-Verhältnis im Verlauf der Vegetationsperiode von Daucus carota. Z. Pflanzenernähr. Bodenkde. (im Druck)

A N H A N G

Tabelle 1: Frischgewichte (g/Pfl.) bei Ackerbohne (Ganze Pflanze, Blätter, Stengel, Hülsen) im Verlauf der Vegetationsperiode.

| Ernte | Ganze Pflanze<br>(ohne Wurzeln) | Blätter | Stengel | Hülsen |
|-------|---------------------------------|---------|---------|--------|
| 1     | 0,46                            |         |         |        |
| 2     | 0,89                            |         |         |        |
| 3     | 1,13                            |         |         |        |
| 4     | 2,13                            |         |         |        |
| 5     | 2,70                            |         |         |        |
| 6     | 4,40                            |         |         |        |
| 7     | 4,61                            |         |         |        |
| 8     | 6,56                            |         |         |        |
| 9     | 11,55                           |         |         |        |
| 10    | 13,22                           |         |         |        |
| 11    | 17,53                           | 7,95    | 9,58    |        |
| 12    | 24,89                           | 10,76   | 14,13   |        |
| 13    | 30,98                           | 11,75   | 19,23   |        |
| 14    | 36,28                           | 13,15   | 23,13   |        |
| 15    | 39,86                           | 14,48   | 25,38   |        |
| 16    | 45,91                           | 15,48   | 30,43   |        |
| 17    | 52,98                           | 19,84   | 33,14   |        |
| 18    | 58,98                           | 24,33   | 34,65   |        |
| 19    | 59,06                           | 22,83   | 35,65   | 0,58   |
| 20    | 59,29                           | 20,98   | 36,33   | 1,98   |
| 21    | 67,38                           | 24,75   | 40,00   | 2,63   |
| 22    | 71,21                           | 25,48   | 38,35   | 7,38   |
| 23    | 74,25                           | 22,20   | 39,25   | 12,80  |
| 24    | 102,30                          | 27,57   | 44,50   | 30,23  |
| 25    | 105,56                          | 25,97   | 46,48   | 33,11  |
| 26    | 107,69                          | 26,88   | 41,70   | 39,11  |
| 27    | 115,28                          | 27,90   | 44,15   | 43,23  |
| 28    | 106,31                          | 24,05   | 37,73   | 44,53  |
| 29    | 93,22                           | 18,50   | 30,61   | 44,11  |
| 30    | 79,46                           | 9,70    | 28,38   | 41,38  |
| 31    | 44,61                           | 4,11    | 19,21   | 21,29  |
| 32    | 21,95                           | 2,56    | 7,40    | 11,94  |

Tabelle 2: Trockengewichte (g/Pfl.) bei Ackerbohne (Ganze Pflanze, Blätter, Stengel, Hülsen bzw. Samen, Wurzeln) im Verlauf der Vegetationsperiode.

| Ernte | Ganze Pflanze<br>(ohne Wurzeln) | Blätter | Stengel        | Hülsen u.<br>Samen | Wurzeln |
|-------|---------------------------------|---------|----------------|--------------------|---------|
| 1     | 0,06                            |         |                |                    |         |
| 2     | 0,09                            |         |                |                    |         |
| 3     | 0,13                            |         |                |                    |         |
| 4     | 0,21                            |         |                |                    |         |
| 5     | 0,26                            |         |                |                    |         |
| 6     | 0,45                            |         |                |                    |         |
| 7     | 0,47                            |         |                |                    |         |
| 8     | 0,65                            |         |                |                    |         |
| 9     | 1,06                            |         |                |                    |         |
| 10    | 1,40                            |         |                |                    |         |
| 11    | 1,96                            | 1,07    | 0,88           |                    | 0,85    |
| 12    | 2,48                            | 1,22    | 1,26           |                    | 0,94    |
| 13    | 3,00                            | 1,32    | 1,68           |                    | 1,14    |
| 14    | 3,66                            | 1,53    | 2,13           |                    | 1,19    |
| 15    | 4,16                            | 1,66    | 2,50           |                    | 1,19    |
| 16    | 4,77                            | 1,89    | 2,88           |                    | 1,42    |
| 17    | 6,37                            | 2,53    | 3,84           |                    | 1,83    |
| 18    | 7,64                            | 3,11    | 4,53           | Hülsen             | 1,65    |
| 19    | 8,23                            | 3,12    | 5,02           | 0,09               | 1,84    |
| 20    | 10,33                           | 3,71    | 6,28           | 0,34               | 1,90    |
| 21    | 9,76                            | 3,33    | 6,06           | 0,37               | 1,81    |
| 22    | 11,47                           | 3,60    | 6,90           | 0,97               | 1,94    |
| 23    | 13,48                           | 4,14    | Spreu.<br>9,15 | Samen<br>0,19      | 2,09    |
| 24    | 16,43                           | 4,06    | 11,17          | 1,20               | 2,84    |
| 25    | 17,86                           | 4,34    | 11,87          | 1,65               | 2,34    |
| 26    | 18,82                           | 4,50    | 11,94          | 2,38               | 3,06    |
| 27    | 19,61                           | 3,84    | 12,09          | 3,68               | 2,41    |
| 28    | 20,66                           | 3,72    | 11,03          | 5,91               | 2,34    |
| 29    | 22,36                           | 3,49    | 10,62          | 8,25               | 2,62    |
| 30    | 22,56                           | 3,06    | 9,44           | 10,06              | 2,42    |
| 31    | 21,57                           | 2,82    | 8,63           | 10,12              | 1,81    |
| 32    | 17,53                           | 2,32    | 7,25           | 7,96               | 2,12    |

Tabelle 3: Rohproteingehalte (% d.Tr.S.) bei Ackerbohne  
(Ganze Pflanze, Blätter, Stengel, Hülsen bzw.  
Samen, Wurzeln) im Verlauf der Vegetations-  
periode.

| Ernte | Ganze Pflanze<br>(ohne Wurzeln) | Blätter | Stengel | Hülsen u.<br>Samen | Wurzeln |
|-------|---------------------------------|---------|---------|--------------------|---------|
| 1     | 44,73                           |         |         |                    |         |
| 2     | 40,82                           |         |         |                    |         |
| 3     | 38,76                           |         |         |                    |         |
| 4     | 37,59                           |         |         |                    |         |
| 5     | 34,43                           |         |         |                    |         |
| 6     | 28,44                           |         |         |                    |         |
| 7     | 27,31                           |         |         |                    |         |
| 8     | 21,81                           |         |         |                    |         |
| 9     | 19,49                           |         |         |                    |         |
| 10    | 17,77                           |         |         |                    |         |
| 11    | 15,50                           | 21,66   | 8,13    |                    | 16,37   |
| 12    | 14,65                           | 23,14   | 7,20    |                    | 14,69   |
| 13    | 14,52                           | 24,44   | 6,73    |                    | 15,63   |
| 14    | 14,01                           | 24,11   | 6,77    |                    | 14,56   |
| 15    | 13,45                           | 23,50   | 6,78    |                    | 15,63   |
| 16    | 12,85                           | 23,20   | 6,06    |                    | 13,55   |
| 17    | 12,90                           | 23,70   | 5,78    |                    | 13,25   |
| 18    | 13,23                           | 24,44   | 5,54    |                    | 13,42   |
| 19    | 12,89                           | 24,93   | 5,15    | Hülsen<br>27,98    | 13,15   |
| 20    | 11,88                           | 23,08   | 4,41    | 27,90              | 14,07   |
| 21    | 13,52                           | 26,51   | 5,46    | 28,66              | 12,95   |
| 22    | 12,01                           | 21,78   | 5,00    | 25,72              | 12,93   |
| 23    | 13,00                           | 22,52   | 8,30    | Samen<br>32,16     | 12,96   |
| 24    | 13,35                           | 20,91   | 8,85    | 29,68              | 12,15   |
| 25    | 12,86                           | 20,73   | 7,95    | 27,52              | 12,33   |
| 26    | 13,57                           | 19,14   | 8,79    | 26,99              | 12,25   |
| 27    | 13,34                           | 18,45   | 7,58    | 26,95              | 11,96   |
| 28    | 13,88                           | 16,58   | 6,21    | 26,50              | 11,75   |
| 29    | 13,99                           | 13,02   | 5,16    | 25,76              | 10,70   |
| 30    | 13,98                           | 10,46   | 4,03    | 24,39              | 10,86   |
| 31    | 14,48                           | 11,65   | 3,18    | 24,91              | 11,12   |
| 32    | 14,22                           | 12,98   | 3,07    | 24,74              | 11,60   |

Tabelle 4: Rohproteinmengen (mg/Pfl.) bei Ackerbohne  
(Ganze Pflanze, Blätter, Stengel, Hülsen bzw.  
Samen, Wurzeln) im Verlauf der Vegetations-  
periode.

| Ernte | Ganze Pflanze<br>(ohne Wurzeln) | Blätter | Stengel | Hülsen u.<br>Samen | Wurzeln |
|-------|---------------------------------|---------|---------|--------------------|---------|
| 1     | 25                              |         |         |                    |         |
| 2     | 35                              |         |         |                    |         |
| 3     | 51                              |         |         |                    |         |
| 4     | 78                              |         |         |                    |         |
| 5     | 91                              |         |         |                    |         |
| 6     | 128                             |         |         |                    |         |
| 7     | 127                             |         |         |                    |         |
| 8     | 142                             |         |         |                    |         |
| 9     | 207                             |         |         |                    |         |
| 10    | 249                             |         |         |                    |         |
| 11    | 304                             | 232     | 72      |                    | 138     |
| 12    | 363                             | 282     | 81      |                    | 138     |
| 13    | 436                             | 323     | 113     |                    | 178     |
| 14    | 513                             | 369     | 144     |                    | 173     |
| 15    | 560                             | 390     | 170     |                    | 186     |
| 16    | 613                             | 438     | 174     |                    | 192     |
| 17    | 821                             | 600     | 222     |                    | 243     |
| 18    | 1011                            | 760     | 251     |                    | 221     |
| 19    | 1061                            | 778     | 258     | Hülsen<br>25       | 242     |
| 20    | 1228                            | 856     | 277     | 94                 | 267     |
| 21    | 1320                            | 883     | 331     | 106                | 234     |
| 22    | 1378                            | 784     | 345     | 249                | 251     |
|       |                                 |         | Spreu   | Samen              |         |
| 23    | 1753                            | 932     | 759     | 61                 | 271     |
| 24    | 2194                            | 849     | 989     | 356                | 345     |
| 25    | 2298                            | 900     | 945     | 454                | 288     |
| 26    | 2554                            | 862     | 1050    | 642                | 375     |
| 27    | 2616                            | 708     | 916     | 992                | 288     |
| 28    | 2868                            | 617     | 685     | 1566               | 275     |
| 29    | 3128                            | 455     | 548     | 2125               | 280     |
| 30    | 3154                            | 320     | 380     | 2453               | 263     |
| 31    | 3124                            | 329     | 274     | 2521               | 201     |
| 32    | 2493                            | 301     | 223     | 1969               | 246     |

Tabelle 5: Reinproteingehalte (% d.Tr.S.) bei Ackerbohne  
(Ganze Pflanze, Blätter, Stengel, Hülsen bzw.  
Samen, Wurzeln) im Verlauf der Vegetations-  
periode.

| Ernte | Ganze Pflanze<br>(ohne Wurzeln) | Blätter | Stengel | Hülsen u.<br>Samen | Wurzeln |
|-------|---------------------------------|---------|---------|--------------------|---------|
| 1     | 29,30                           |         |         |                    |         |
| 2     | 27,67                           |         |         |                    |         |
| 3     | 27,09                           |         |         |                    |         |
| 4     | 25,46                           |         |         |                    |         |
| 5     | 23,67                           |         |         |                    |         |
| 6     | 22,03                           |         |         |                    |         |
| 7     | 22,77                           |         |         |                    |         |
| 8     | 17,25                           |         |         |                    |         |
| 9     | 16,73                           |         |         |                    |         |
| 10    | 15,68                           |         |         |                    |         |
| 11    | 12,98                           | 19,16   | 5,55    |                    | 14,24   |
| 12    | 12,56                           | 20,09   | 5,27    |                    | 12,84   |
| 13    | 12,27                           | 21,32   | 5,16    |                    | 13,54   |
| 14    | 11,91                           | 21,11   | 5,30    |                    | 12,67   |
| 15    | 10,88                           | 20,50   | 4,49    |                    | 12,96   |
| 16    | 10,63                           | 19,84   | 4,59    |                    | 12,61   |
| 17    | 11,10                           | 20,82   | 4,69    |                    | 11,30   |
| 18    | 11,63                           | 21,70   | 4,71    |                    | 12,30   |
|       |                                 |         |         | Hülsen             |         |
| 19    | 10,79                           | 21,53   | 3,96    | 20,41              | 11,30   |
| 20    | 9,63                            | 19,16   | 3,48    | 19,18              | 13,03   |
| 21    | 10,34                           | 21,67   | 3,61    | 18,85              | 11,54   |
| 22    | 9,22                            | 18,90   | 3,30    | 15,47              | 11,71   |
|       |                                 |         | Spreu   | Samen              |         |
| 23    | 9,39                            | 18,86   | 4,90    | 18,97              | 11,97   |
| 24    | 10,20                           | 20,04   | 5,67    | 19,05              | 11,54   |
| 25    | 9,46                            | 18,70   | 5,06    | 16,79              | 11,77   |
| 26    | 10,08                           | 17,90   | 5,38    | 18,88              | 11,62   |
| 27    | 9,68                            | 16,59   | 4,66    | 18,95              | 11,16   |
| 28    | 11,09                           | 15,32   | 4,08    | 21,50              | 10,93   |
| 29    | 11,58                           | 12,03   | 3,39    | 21,94              | 10,02   |
| 30    | 12,39                           | 9,44    | 3,16    | 21,94              | 10,61   |
| 31    | 13,38                           | 11,27   | 2,59    | 23,17              | 10,95   |
| 32    | 13,25                           | 12,38   | 2,59    | 23,21              | 11,48   |

Tabelle 6: Reinproteinmengen (mg/Pfl.) bei Ackerbohne  
(Ganze Pflanze, Blätter, Stengel, Hülsen bzw.  
Samen, Wurzeln) im Verlauf der Vegetations-  
periode.

| Ernte | Ganze Pflanze<br>(ohne Wurzeln) | Blätter | Stengel | Hülsen u.<br>Samen | Wurzeln |
|-------|---------------------------------|---------|---------|--------------------|---------|
| 1     | 16                              |         |         |                    |         |
| 2     | 24                              |         |         |                    |         |
| 3     | 36                              |         |         |                    |         |
| 4     | 53                              |         |         |                    |         |
| 5     | 62                              |         |         |                    |         |
| 6     | 99                              |         |         |                    |         |
| 7     | 106                             |         |         |                    |         |
| 8     | 112                             |         |         |                    |         |
| 9     | 177                             |         |         |                    |         |
| 10    | 219                             |         |         |                    |         |
| 11    | 254                             | 205     | 49      |                    | 120     |
| 12    | 311                             | 245     | 66      |                    | 121     |
| 13    | 368                             | 281     | 87      |                    | 154     |
| 14    | 436                             | 323     | 113     |                    | 151     |
| 15    | 453                             | 340     | 112     |                    | 154     |
| 16    | 507                             | 375     | 132     |                    | 179     |
| 17    | 707                             | 527     | 180     |                    | 207     |
| 18    | 888                             | 675     | 213     |                    | 203     |
|       |                                 |         |         | Hülsen             |         |
| 19    | 888                             | 672     | 199     | 18                 | 208     |
| 20    | 994                             | 711     | 219     | 65                 | 248     |
| 21    | 1010                            | 721     | 219     | 70                 | 209     |
| 22    | 1057                            | 680     | 227     | 150                | 227     |
|       |                                 |         | Spreu   | Samen              |         |
| 23    | 1265                            | 781     | 448     | 36                 | 250     |
| 24    | 1675                            | 814     | 633     | 229                | 328     |
| 25    | 1690                            | 812     | 601     | 277                | 275     |
| 26    | 1897                            | 806     | 642     | 449                | 356     |
| 27    | 1898                            | 637     | 563     | 697                | 269     |
| 28    | 2290                            | 570     | 450     | 1270               | 256     |
| 29    | 2590                            | 420     | 360     | 1810               | 262     |
| 30    | 2795                            | 289     | 299     | 2208               | 257     |
| 31    | 2885                            | 318     | 223     | 2344               | 198     |
| 32    | 2322                            | 287     | 188     | 1847               | 243     |

Tabelle 7: Gehalt von Ackerbohnenpflanzen (Ganze Pflanze, Blätter, Stengel, Hülsen bzw. Samen) an hydrolysierbaren Kohlenhydraten (% d.Tr.S.) im Verlauf der Vegetationsperiode.

| Ernte | Ganze Pflanze<br>(ohne Wurzeln) | Blätter | Stengel       | Hülsen u.<br>Samen |
|-------|---------------------------------|---------|---------------|--------------------|
| 1     | 18,98                           |         |               |                    |
| 2     | 20,54                           |         |               |                    |
| 3     | 17,19                           |         |               |                    |
| 4     | 13,30                           |         |               |                    |
| 5     | 14,87                           |         |               |                    |
| 6     | 17,91                           |         |               |                    |
| 7     | 16,28                           |         |               |                    |
| 8     | 18,60                           |         |               |                    |
| 9     | 18,07                           |         |               |                    |
| 10    | 24,78                           |         |               |                    |
| 11    | 26,57                           | 18,7    | 36,1          |                    |
| 12    | 27,47                           | 15,1    | 39,4          |                    |
| 13    | 25,96                           | 13,6    | 35,6          |                    |
| 14    | 26,33                           | 15,8    | 33,8          |                    |
| 15    | 27,26                           | 16,9    | 34,0          |                    |
| 16    | 26,88                           | 18,1    | 32,6          |                    |
| 17    | 26,82                           | 19,7    | 31,4          |                    |
| 18    | 25,66                           | 18,7    | 30,4          |                    |
|       |                                 |         |               | Hülsen             |
| 19    | 27,13                           | 18,4    | 32,6          | 19,1               |
| 20    | 28,40                           | 19,8    | 33,8          | 21,5               |
| 21    | 27,70                           | 18,6    | 32,9          | 23,5               |
| 22    | 32,49                           | 20,4    | 39,0          | 30,6               |
| 23    | 32,05                           | 19,5    | Spreu<br>37,9 | Samen<br>22,2      |
| 24    | 34,99                           | 20,4    | 41,0          | 28,3               |
| 25    | 35,49                           | 21,1    | 41,3          | 31,4               |
| 26    | 35,48                           | 22,9    | 40,7          | 32,6               |
| 27    | 34,85                           | 22,3    | 37,6          | 38,7               |
| 28    | 35,49                           | 21,3    | 35,2          | 44,8               |
| 29    | 41,27                           | 21,2    | 31,9          | 61,8               |
| 30    | 44,57                           | 17,8    | 32,6          | 63,9               |
| 31    | 43,91                           | 18,6    | 32,2          | 60,8               |
| 32    | 43,21                           | 19,2    | 33,1          | 59,3               |

Tabelle 8: Menge der hydrolysierbaren Kohlenhydrate (mg/Pfl.) in Ackerbohnenpflanzen (Ganze Pflanze, Blätter, Stengel, Hülsen bzw. Samen) im Verlauf der Vegetationsperiode.

| Ernte | Ganze Pflanze<br>(ohne Wurzeln) | Blätter | Stengel | Hülsen u.<br>Samen |
|-------|---------------------------------|---------|---------|--------------------|
| 1     | 11                              |         |         |                    |
| 2     | 17                              |         |         |                    |
| 3     | 23                              |         |         |                    |
| 4     | 28                              |         |         |                    |
| 5     | 39                              |         |         |                    |
| 6     | 81                              |         |         |                    |
| 7     | 76                              |         |         |                    |
| 8     | 121                             |         |         |                    |
| 9     | 192                             |         |         |                    |
| 10    | 347                             |         |         |                    |
| 11    | 520                             | 201     | 319     |                    |
| 12    | 681                             | 185     | 496     |                    |
| 13    | 779                             | 180     | 599     |                    |
| 14    | 964                             | 243     | 721     |                    |
| 15    | 1134                            | 282     | 852     |                    |
| 16    | 1282                            | 342     | 940     |                    |
| 17    | 1708                            | 500     | 1208    |                    |
| 18    | 1961                            | 584     | 1377    |                    |
| 19    | 2232                            | 575     | 1641    | Hülsen 17          |
| 20    | 2934                            | 736     | 2125    | 73                 |
| 21    | 2704                            | 619     | 1997    | 87                 |
| 22    | 3726                            | 737     | 2693    | 297                |
|       |                                 |         | Spreu   | Samen              |
| 23    | 4320                            | 809     | 3468    | 43                 |
| 24    | 5749                            | 830     | 4580    | 340                |
| 25    | 6339                            | 918     | 4903    | 519                |
| 26    | 6677                            | 1030    | 4869    | 778                |
| 27    | 6834                            | 857     | 4551    | 1427               |
| 28    | 7332                            | 796     | 3884    | 2653               |
| 29    | 9228                            | 742     | 3388    | 5099               |
| 30    | 10055                           | 548     | 3078    | 6430               |
| 31    | 9470                            | 525     | 2784    | 6162               |
| 32    | 7574                            | 446     | 2402    | 4726               |

Tabelle 9: Anteil (in %) von produzierendem System, von Produkt und von System in den Reserveorganen an der Gesamttrockenmasse von Ackerbohnenpflanzen (ohne Wurzeln) im Verlauf der Vegetationsperiode.

| Ernte | System | Produkt | System in Reserve-<br>Organ |
|-------|--------|---------|-----------------------------|
| 1     | 99,63  | 0,37    |                             |
| 2     | 94,08  | 5,92    |                             |
| 3     | 92,11  | 7,89    |                             |
| 4     | 86,58  | 13,42   |                             |
| 5     | 80,48  | 19,52   |                             |
| 6     | 74,91  | 25,09   |                             |
| 7     | 77,40  | 22,60   |                             |
| 8     | 58,66  | 41,34   |                             |
| 9     | 56,89  | 43,11   |                             |
| 10    | 53,30  | 46,70   |                             |
| 11    | 44,13  | 55,87   |                             |
| 12    | 42,70  | 57,30   |                             |
| 13    | 41,72  | 58,28   |                             |
| 14    | 40,50  | 59,50   |                             |
| 15    | 37,00  | 63,00   |                             |
| 16    | 36,15  | 63,85   |                             |
| 17    | 37,73  | 62,27   |                             |
| 18    | 39,53  | 60,47   |                             |
| 19    | 36,70  | 63,30   |                             |
| 20    | 32,73  | 67,27   |                             |
| 21    | 35,17  | 64,83   |                             |
| 22    | 31,34  | 68,66   |                             |
| 23    | 31,00  | 68,09   | 0,91                        |
| 24    | 29,93  | 65,34   | 4,73                        |
| 25    | 26,89  | 67,84   | 5,27                        |
| 26    | 26,15  | 65,73   | 8,12                        |
| 27    | 20,81  | 67,10   | 12,09                       |
| 28    | 16,79  | 63,30   | 20,91                       |
| 29    | 11,85  | 60,62   | 27,53                       |
| 30    | 8,85   | 57,88   | 33,27                       |
| 31    | 8,53   | 54,52   | 36,95                       |
| 32    | 9,22   | 54,95   | 35,83                       |

Tabelle 10: Anteil (in %) von produzierendem System bzw. von System in den Reserveorganen (Samen) und von Produkt an der Gesamttrockenmasse der einzelnen Organe der Ackerbohnenpflanze nach ihrer Abtrennung.

| Ernte | Blätter |         | Stengel |         | Samen  |         | Wurzeln |         |
|-------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|
|       | System  | Produkt | System  | Produkt | System | Produkt | System  | Produkt |
| 11    | 65,16   | 34,84   | 18,88   | 81,12   |        |         | 48,41   | 51,59   |
| 12    | 68,30   | 31,70   | 17,91   | 82,09   |        |         | 43,65   | 56,35   |
| 13    | 72,50   | 27,50   | 17,55   | 82,45   |        |         | 46,03   | 53,97   |
| 14    | 71,78   | 28,22   | 18,03   | 81,97   |        |         | 43,09   | 56,91   |
| 15    | 69,70   | 30,30   | 15,28   | 84,72   |        |         | 44,07   | 55,93   |
| 16    | 67,46   | 32,54   | 15,60   | 84,40   |        |         | 42,86   | 57,14   |
| 17    | 70,79   | 29,21   | 15,94   | 84,06   |        |         | 38,42   | 61,58   |
| 18    | 73,77   | 26,23   | 16,02   | 83,98   |        |         | 41,80   | 58,20   |
| 19    | 73,19   | 26,81   | * 14,42 | * 85,58 |        |         | 38,41   | 61,59   |
| 20    | 65,15   | 34,85   | * 14,56 | * 85,44 |        |         | 44,30   | 55,70   |
| 21    | 73,67   | 26,33   | * 15,22 | * 84,78 |        |         | 39,24   | 60,76   |
| 22    | 64,25   | 35,75   | * 16,29 | * 83,71 |        |         | 39,81   | 60,19   |
| 23    | 64,11   | 35,89   | 16,66   | 83,34   | 64,50  | 35,50   | 40,69   | 59,31   |
| 24    | 68,13   | 31,87   | 19,27   | 80,73   | 64,77  | 35,23   | 39,24   | 60,76   |
| 25    | 63,59   | 36,41   | 17,21   | 82,79   | 57,09  | 42,91   | 40,00   | 60,00   |
| 26    | 60,86   | 39,14   | 18,29   | 81,71   | 64,19  | 35,81   | 39,52   | 60,48   |
| 27    | 56,39   | 43,61   | 15,84   | 84,16   | 64,43  | 35,57   | 37,93   | 62,07   |
| 28    | 52,10   | 47,90   | 13,87   | 86,13   | 73,10  | 26,90   | 37,18   | 62,82   |
| 29    | 40,89   | 59,11   | 11,52   | 88,48   | 74,60  | 25,40   | 34,05   | 65,95   |
| 30    | 32,09   | 67,91   | 10,75   | 89,25   | 74,60  | 25,30   | 36,08   | 63,92   |
| 31    | 38,32   | 61,68   | 8,79    | 91,21   | 78,78  | 21,22   | 37,24   | 62,76   |
| 32    | 42,08   | 57,92   | 8,82    | 91,18   | 78,91  | 21,09   | 39,04   | 60,96   |

\*) (einschließlich Hülsen)

Tabelle 11: System- und Produktmengen (mg/Pfl.), System- und Produktzuwachsraten (Pfl./Tag) sowie Systemsyntheseleistung für System und Produkt (in %) bei Ackerbohnen.

| Ernte | System-<br>menge<br>(mg/Pfl.) | System-<br>zuwachs<br>(Pfl./Tag) | System-<br>synthese-<br>leistung<br>f. System<br>(%) | Produkt-<br>menge<br>(mg/Pfl.) | Produkt-<br>zuwachs<br>(Pfl./Tag) | System-<br>synthese-<br>leistung<br>f. Produkt<br>(%) |
|-------|-------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 1     | 55,79                         |                                  |                                                      | 0,21                           |                                   |                                                       |
| 2     | 79,97                         | 8,06                             | 11,87                                                | 5,03                           | 1,61                              | 2,37                                                  |
| 3     | 121,58                        | 13,87                            | 13,76                                                | 10,42                          | 1,80                              | 1,79                                                  |
| 4     | 179,21                        | 14,41                            | 9,58                                                 | 27,79                          | 4,34                              | 2,89                                                  |
| 5     | 211,65                        | 10,81                            | 5,53                                                 | 51,35                          | 7,85                              | 4,02                                                  |
| 6     | 337,82                        | 31,54                            | 11,48                                                | 113,18                         | 15,46                             | 5,63                                                  |
| 7     | 359,92                        | 7,37                             | 2,11                                                 | 105,08                         | - 2,70                            | - 0,77                                                |
| 8     | 381,89                        | 5,49                             | 1,48                                                 | 269,11                         | 41,01                             | 11,06                                                 |
| 9     | 603,06                        | 73,72                            | 14,97                                                | 456,94                         | 62,61                             | 12,71                                                 |
| 10    | 746,23                        | 35,79                            | 5,31                                                 | 653,77                         | 49,21                             | 7,29                                                  |
| 11    | 864,11                        | 39,29                            | 4,88                                                 | 1093,89                        | 146,71                            | 18,22                                                 |
| 12    | 1058,93                       | 48,71                            | 5,07                                                 | 1421,07                        | 81,80                             | 8,51                                                  |
| 13    | 1251,71                       | 64,26                            | 5,56                                                 | 1748,29                        | 109,07                            | 9,44                                                  |
| 14    | 1482,37                       | 57,67                            | 4,22                                                 | 2177,63                        | 107,34                            | 7,85                                                  |
| 15    | 1539,01                       | 18,88                            | 1,25                                                 | 2620,99                        | 147,79                            | 9,78                                                  |
| 16    | 1724,28                       | 46,32                            | 2,84                                                 | 3045,72                        | 106,18                            | 6,51                                                  |
| 17    | 2403,22                       | 226,31                           | 10,97                                                | 3966,78                        | 307,02                            | 14,88                                                 |
| 18    | 3019,98                       | 154,19                           | 5,69                                                 | 4620,02                        | 163,31                            | 6,02                                                  |
| 19    | 3020,15                       | 0,06                             | 0,00                                                 | 5209,85                        | 196,61                            | 6,51                                                  |
| 20    | 3380,86                       | 90,18                            | 2,82                                                 | 6949,15                        | 434,83                            | 13,59                                                 |
| 21    | 3432,44                       | 17,19                            | 0,51                                                 | 6327,56                        | - 207,20                          | - 6,08                                                |
| 22    | 3595,02                       | 40,65                            | 1,16                                                 | 7874,98                        | 386,86                            | 11,01                                                 |
|       |                               | 194,66                           | 5,01                                                 |                                | 434,26                            | 11,17                                                 |

Tabelle 12: System- und Produktmengen (mg/Pfl.), System- und Produktzuwachsraten (Pfl./Tag) sowie Systemsyntheseleistung für System und Produkt (in %) bei Ackerbohnen.

| Ernte | System-<br>menge<br>(mg/Pfl.) | System-<br>zuwachs<br>(Pfl./Tag) | System-<br>synthese-<br>leistung<br>f. System<br>(%) | System-<br>menge<br>(mg/Pfl.) | System-<br>zuwachs<br>(Pfl./Tag) | System-<br>synthese-<br>leistung<br>f. System<br>(%) | Produkt-<br>menge<br>(mg/Pfl.) | Produkt-<br>zuwachs<br>(Pfl./Tag) | System-<br>synthese-<br>leistung<br>f. Produkt<br>(%) |
|-------|-------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------|
|       | vegetative Organe             |                                  |                                                      | gesamte Pflanze               |                                  |                                                      | gesamte Pflanze                |                                   |                                                       |
| 23    | 4179,01                       | 184,77                           | 4,06                                                 | 4302,22                       | 348,25                           | 7,66                                                 | 9177,77                        | 389,26                            | 8,56                                                  |
| 24    | 4918,10                       | -38,32                           | -0,79                                                | 5695,20                       | 16,58                            | 0,34                                                 | 10734,80                       | 460,10                            | 9,47                                                  |
| 25    | 4803,15                       | 29,70                            | 0,61                                                 | 5744,95                       | 176,19                           | 3,62                                                 | 12115,10                       | 63,80                             | 1,31                                                  |
| 26    | 4921,94                       | -280,32                          | -6,23                                                | 6449,70                       | 0,72                             | 0,02                                                 | 12370,30                       | 262,61                            | 5,83                                                  |
| 27    | 4080,99                       | -153,31                          | -4,06                                                | 6451,87                       | 333,78                           | 8,84                                                 | 13158,12                       | -71,28                            | -1,89                                                 |
| 28    | 3467,76                       | -272,59                          | -8,91                                                | 7786,99                       | 339,34                           | 11,09                                                | 12873,02                       | 227,32                            | 7,43                                                  |
| 29    | 2649,99                       | -163,24                          | -7,03                                                | 8805,01                       | 174,44                           | 7,51                                                 | 13554,99                       | -124,44                           | -5,36                                                 |
| 30    | 1997,02                       | -52,68                           | -2,75                                                | 9502,76                       | 102,28                           | 5,33                                                 | 13057,24                       | -432,28                           | -22,54                                                |
| 31    | 1838,99                       | -55,91                           | -3,24                                                | 9809,61                       | -478,51                          | -27,71                                               | 11760,39                       | -531,49                           | -30,77                                                |
| 32    | 1615,37                       |                                  |                                                      | 7895,58                       |                                  |                                                      | 9634,42                        |                                   |                                                       |

Tabelle 13: System- und Produktmengen (mg/Pfl.) in den einzelnen Organen der Ackerbohnenpflanze nach ihrer Abtrennung.

| Ernte | Blätter |         | Stengel  |          | Samen   |         | Wurzeln |         |
|-------|---------|---------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|
|       | System  | Produkt | System   | Produkt  | System  | Produkt | System  | Produkt |
| 11    | 697,20  | 372,80  | 166,91   | 717,09   |         |         | 409,53  | 436,47  |
| 12    | 833,24  | 386,76  | 225,69   | 1034,31  |         |         | 410,35  | 529,65  |
| 13    | 956,96  | 363,04  | 294,75   | 1385,25  |         |         | 524,72  | 615,28  |
| 14    | 1098,23 | 431,77  | 384,13   | 1745,87  |         |         | 512,79  | 677,21  |
| 15    | 1157,02 | 502,98  | 381,99   | 2118,01  |         |         | 524,45  | 665,55  |
| 16    | 1275,03 | 614,97  | 449,24   | 2430,76  |         |         | 608,57  | 811,43  |
| 17    | 1791,02 | 738,98  | 612,20   | 3227,80  |         |         | 703,02  | 1126,98 |
| 18    | 2294,25 | 815,75  | 725,73   | 3804,27  |         |         | 689,76  | 960,24  |
| 19    | 2283,37 | 836,63  | *736,78  | *4372,22 |         |         | 706,79  | 1132,21 |
| 20    | 2417,23 | 1292,77 | *963,63  | *5654,38 |         |         | 841,60  | 1058,40 |
| 21    | 2453,03 | 876,97  | *979,40  | *5449,59 |         |         | 710,16  | 1099,84 |
| 22    | 2313,12 | 1286,88 | *1281,90 | *6585,10 |         |         | 772,21  | 1167,79 |
| 23    | 2654,31 | 1485,69 | 1524,70  | 7625,30  | 123,22  | 67,78   | 850,51  | 1239,49 |
| 24    | 2765,90 | 1294,10 | 2152,20  | 9017,80  | 777,10  | 422,90  | 1114,49 | 1725,51 |
| 25    | 2759,81 | 1580,19 | 2043,33  | 9826,67  | 941,80  | 708,20  | 936,09  | 1403,91 |
| 26    | 2738,70 | 1761,30 | 2183,24  | 9756,76  | 1527,76 | 852,24  | 1209,35 | 1850,65 |
| 27    | 2165,46 | 1674,54 | 1915,53  | 10174,47 | 2370,89 | 1309,11 | 914,06  | 1495,94 |
| 28    | 1938,07 | 1781,93 | 1529,69  | 9500,31  | 4319,22 | 1590,78 | 869,92  | 1470,08 |
| 29    | 1427,01 | 2062,99 | 1222,98  | 9397,02  | 6155,02 | 2094,98 | 892,13  | 1727,87 |
| 30    | 981,82  | 2078,18 | 1015,21  | 8424,79  | 7505,74 | 2554,26 | 873,09  | 1546,91 |
| 31    | 1080,49 | 1739,51 | 758,51   | 7871,49  | 7970,62 | 2149,38 | 674,12  | 1135,88 |
| 32    | 976,21  | 1343,79 | 639,17   | 6610,83  | 6280,21 | 1679,79 | 827,56  | 1292,44 |

\*) (einschließlich Hülsen)

Tabelle 14: Syntheseleistung des Systems für Kohlenhydrate (in der Gesamtpflanze ohne Wurzeln) bei Ackerbohnen (in % der jeweiligen Systemmenge in den vegetativen Pflanzenteilen).

| Ernte | Systemsyntheseleistung für Kohlenhydrate (in %) | Ernte | Systemsyntheseleistung für Kohlenhydrate (in %) |
|-------|-------------------------------------------------|-------|-------------------------------------------------|
| 1-2   | 3,36                                            | 14-15 | 3,76                                            |
| 2-3   | 1,74                                            | 15-16 | 2,27                                            |
| 3-4   | 0,81                                            | 16-17 | 6,88                                            |
| 4-5   | 1,98                                            | 17-18 | 2,33                                            |
| 5-6   | 3,79                                            | 18-19 | 3,00                                            |
| 6-7   | - 0,48                                          | 19-20 | 5,48                                            |
| 7-8   | 3,06                                            | 20-21 | - 2,25                                          |
| 8-9   | 4,77                                            | 21-22 | 7,28                                            |
| 9-10  | 5,76                                            | 22-23 | 5,10                                            |
| 10-11 | 7,18                                            | 23-24 | 7,86                                            |
| 11-12 | 4,19                                            | 24-25 | 4,04                                            |
| 12-13 | 2,81                                            | 25-26 | 1,74                                            |
| 13-14 | 3,38                                            | 26-27 | 1,17                                            |
|       |                                                 | 27-28 | 3,30                                            |

Tabelle 15: Reinprotein/Kohlenhydrat-Verhältnis in der Gesamtpflanze (ohne Wurzeln) bei Ackerbohnen.

| Ernte | Reinprotein/<br>Kohlenhydrate | Ernte | Reinprotein/<br>Kohlenhydrate |
|-------|-------------------------------|-------|-------------------------------|
| 1     | 1,54                          | 17    | 0,41                          |
| 2     | 1,35                          | 18    | 0,45                          |
| 3     | 1,58                          | 19    | 0,40                          |
| 4     | 1,91                          | 20    | 0,34                          |
| 5     | 1,59                          | 21    | 0,37                          |
| 6     | 1,23                          | 22    | 0,28                          |
| 7     | 1,40                          | 23    | 0,29                          |
| 8     | 0,93                          | 24    | 0,29                          |
| 9     | 0,93                          | 25    | 0,27                          |
| 10    | 0,63                          | 26    | 0,28                          |
| 11    | 0,49                          | 27    | 0,28                          |
| 12    | 0,46                          | 28    | 0,31                          |
| 13    | 0,47                          | 29    | 0,28                          |
| 14    | 0,45                          | 30    | 0,28                          |
| 15    | 0,40                          | 31    | 0,31                          |
| 16    | 0,40                          | 32    | 0,31                          |

Tabelle 16: Frischgewichte (g/Pfl.) bei Sommerweizen  
im Verlauf der Vegetationsperiode.

| Ernte | Pflanzenteil      | mit S | ohne S |
|-------|-------------------|-------|--------|
| 1     | vegetative Organe | 0,13  | 0,13   |
| 2     | "                 | 0,35  | 0,30   |
| 3     | "                 | 0,82  | 0,73   |
| 4     | "                 | 2,85  | 2,44   |
| 5     | "                 | 5,50  | 5,76   |
| 6     | "                 | 8,49  | 7,83   |
| 7     | "                 | 10,91 | 10,53  |
| 8     | "                 | 13,32 | 13,22  |
| 9     | "                 | 11,91 | 11,35  |
| 10    | "                 | 11,70 | 11,07  |
| 11    | "                 | 10,97 | 10,32  |
| 12    | "                 | 10,18 | 10,21  |
| 13    | "                 | 8,73  | 9,29   |
| 14    | "                 | 6,15  | 6,75   |
| 15    | "                 | 4,10  | 3,93   |
| 9     | Ähren             | 1,66  | 1,33   |
| 10    | "                 | 1,95  | 1,68   |
| 11    | "                 | 2,90  | 2,59   |
| 12    | "                 | 4,04  | 3,64   |
| 13    | "                 | 4,56  | 4,59   |
| 14    | "                 | 4,81  | 4,25   |
| 15    | "                 | 3,11  | 3,09   |

Tabelle 17: Trockengewichte (g/Pfl.) bei Sommerweizen  
im Verlauf der Vegetationsperiode.

| Ernte | Pflanzenteil      | mit S | ohne S |
|-------|-------------------|-------|--------|
| 1     | vegetative Organe | 0,02  | 0,02   |
| 2     | "                 | 0,05  | 0,04   |
| 3     | "                 | 0,10  | 0,09   |
| 4     | "                 | 0,31  | 0,26   |
| 5     | "                 | 0,76  | 0,74   |
| 6     | "                 | 1,39  | 1,24   |
| 7     | "                 | 2,03  | 1,82   |
| 8     | "                 | 2,76  | 2,62   |
| 9     | "                 | 3,17  | 2,96   |
| 10    | "                 | 3,69  | 3,54   |
| 11    | " + Spreu         | 4,49  | 4,21   |
| 12    | " "               | 4,59  | 4,37   |
| 13    | " "               | 3,95  | 4,10   |
| 14    | " "               | 3,61  | 3,34   |
| 15    | " "               | 3,70  | 3,50   |
| 9     | Ähren             | 0,42  | 0,34   |
| 10    | "                 | 0,64  | 0,56   |
| 11    | Körner            | 0,36  | 0,34   |
| 12    | "                 | 0,85  | 0,80   |
| 13    | "                 | 1,43  | 1,47   |
| 14    | "                 | 2,08  | 1,87   |
| 15    | "                 | 2,21  | 2,10   |

Tabelle 18: Rohproteingehalte (% d.Tr.S.) bei Sommerweizen im Verlauf der Vegetationsperiode.

| Ernte | Pflanzenteil      | mit S | ohne S |
|-------|-------------------|-------|--------|
| 1     | vegetative Organe | 33,35 | 33,02  |
| 2     | "                 | 30,03 | 29,86  |
| 3     | "                 | 32,10 | 31,19  |
| 4     | "                 | 29,30 | 29,88  |
| 5     | "                 | 17,55 | 19,06  |
| 6     | "                 | 13,47 | 15,10  |
| 7     | "                 | 8,62  | 9,19   |
| 8     | "                 | 8,31  | 8,45   |
| 9     | "                 | 6,38  | 6,28   |
| 10    | "                 | 4,93  | 5,03   |
| 11    | " + Spreu         | 4,33  | 4,55   |
| 12    | " "               | 3,48  | 3,34   |
| 13    | " "               | 2,73  | 2,84   |
| 14    | " "               | 1,98  | 1,78   |
| 15    | " "               | 1,62  | 2,00   |
| 9     | Ähren             | 11,46 | 11,12  |
| 10    | "                 | 9,77  | 9,15   |
| 11    | Körner            | 13,11 | 13,19  |
| 12    | "                 | 11,07 | 11,11  |
| 13    | "                 | 9,38  | 9,49   |
| 14    | "                 | 8,94  | 9,44   |
| 15    | "                 | 8,93  | 9,36   |

Tabelle 19: Rohproteinmengen (mg/Pfl.) bei Sommerweizen  
im Verlauf der Vegetationsperiode.

| Ernte | Pflanzenteil      | mit S | ohne S |
|-------|-------------------|-------|--------|
| 1     | vegetative Organe | 5,3   | 5,2    |
| 2     | "                 | 14,1  | 12,5   |
| 3     | "                 | 30,5  | 27,7   |
| 4     | "                 | 90,8  | 77,7   |
| 5     | "                 | 133,3 | 141,0  |
| 6     | "                 | 187,2 | 187,2  |
| 7     | "                 | 175,0 | 167,3  |
| 8     | "                 | 229,4 | 221,4  |
| 9     | "                 | 202,2 | 185,8  |
| 10    | "                 | 181,9 | 178,1  |
| 11    | " + Spreu         | 194,3 | 191,6  |
| 12    | " "               | 159,8 | 145,8  |
| 13    | " "               | 107,7 | 116,6  |
| 14    | " "               | 71,6  | 59,5   |
| 15    | " "               | 59,8  | 70,0   |
| 9     | Ähren             | 48,1  | 38,1   |
| 10    | "                 | 62,8  | 51,0   |
| 11    | Körner            | 47,5  | 45,1   |
| 12    | "                 | 94,1  | 88,6   |
| 13    | "                 | 134,1 | 139,4  |
| 14    | "                 | 185,9 | 176,5  |
| 15    | "                 | 197,2 | 196,4  |

Tabelle 20: Reinproteingehalte (% d.Tr.S.) bei Sommerweizen im Verlauf der Vegetationsperiode.

| Ernte | Pflanzenteil      | mit S | ohne S |
|-------|-------------------|-------|--------|
| 1     | vegetative Organe | 26,52 | 29,48  |
| 2     | "                 | 24,05 | 27,51  |
| 3     | "                 | 24,37 | 25,20  |
| 4     | "                 | 20,59 | 21,00  |
| 5     | "                 | 14,58 | 17,15  |
| 6     | "                 | 10,02 | 11,74  |
| 7     | "                 | 7,33  | 8,23   |
| 8     | "                 | 6,48  | 6,97   |
| 9     | "                 | 5,81  | 5,36   |
| 10    | "                 | 4,08  | 4,71   |
| 11    | " + Spreu         | 3,46  | 4,26   |
| 12    | " "               | 3,06  | 3,21   |
| 13    | " "               | 2,53  | 2,72   |
| 14    | " "               | 1,57  | 1,75   |
| 15    | " "               | 1,38  | 2,00   |
| 9     | Ähren             | 9,47  | 8,73   |
| 10    | "                 | 7,54  | 7,29   |
| 11    | Körner            | 8,39  | 8,70   |
| 12    | "                 | 8,66  | 8,55   |
| 13    | "                 | 8,35  | 8,08   |
| 14    | "                 | 8,16  | 8,63   |
| 15    | "                 | 8,36  | 8,91   |

Tabelle 21: Reinproteinmengen (mg/Pfl.) bei Sommerweizen  
im Verlauf der Vegetationsperiode.

| Ernte | Pflanzenteil      | mit S | ohne S |
|-------|-------------------|-------|--------|
| 1     | vegetative Organe | 4,2   | 4,7    |
| 2     | "                 | 11,3  | 11,5   |
| 3     | "                 | 23,1  | 22,4   |
| 4     | "                 | 63,8  | 54,6   |
| 5     | "                 | 110,8 | 126,9  |
| 6     | "                 | 139,2 | 145,5  |
| 7     | "                 | 148,8 | 149,7  |
| 8     | "                 | 178,9 | 182,9  |
| 9     | "                 | 184,0 | 158,5  |
| 10    | "                 | 150,5 | 166,6  |
| 11    | " + Spreu         | 155,4 | 179,3  |
| 12    | " "               | 140,3 | 140,2  |
| 13    | " "               | 100,1 | 111,3  |
| 14    | " "               | 57,0  | 58,5   |
| 15    | " "               | 51,1  | 70,7   |
| 9     | Ähren             | 39,7  | 29,9   |
| 10    | "                 | 48,4  | 40,6   |
| 11    | Körner            | 30,4  | 29,7   |
| 12    | "                 | 73,7  | 68,2   |
| 13    | "                 | 119,3 | 118,7  |
| 14    | "                 | 169,6 | 161,3  |
| 15    | "                 | 184,6 | 187,1  |

Tabelle 22: Gesamtschwefelgehalte (mg/g Tr.S.) bei Sommerweizen im Verlauf der Vegetationsperiode.

| Ernte | Pflanzenteil      | mit S | ohne S |
|-------|-------------------|-------|--------|
| 1     | vegetative Organe | 6,88  | 5,61   |
| 2     | "                 | 6,98  | 5,83   |
| 3     | "                 | 7,48  | 7,51   |
| 4     | "                 | 5,14  | 4,37   |
| 5     | "                 | 4,73  | 2,43   |
| 6     | "                 | 2,38  | 1,60   |
| 7     | "                 | 1,72  | 1,02   |
| 8     | "                 | 0,53  | 1,14   |
| 9     | "                 | 0,50  | 0,64   |
| 10    | "                 | 0,97  | 1,21   |
| 11    | " + Spreu         | 0,99  | 1,06   |
| 12    | " "               | 1,29  | 1,16   |
| 13    | " "               | 1,22  | 1,51   |
| 14    | " "               | 1,36  | 0,86   |
| 15    | " "               | 1,60  | 1,26   |
| 9     | Ähren             | 1,37  | 1,57   |
| 10    | "                 | 1,11  | 1,42   |
| 11    | Körner            | 1,34  | 1,16   |
| 12    | "                 | 1,28  | 1,10   |
| 13    | "                 | 1,00  | 0,84   |
| 14    | "                 | 0,97  | 0,81   |
| 15    | "                 | 0,94  | 0,76   |

Tabelle 23: Gesamtschwefelmengen (mg/Pfl.) bei Sommerweizen im Verlauf der Vegetationsperiode.

| Ernte | Pflanzenteil      | mit S | ohne S |
|-------|-------------------|-------|--------|
| 1     | vegetative Organe | 0,11  | 0,09   |
| 2     | "                 | 0,33  | 0,25   |
| 3     | "                 | 0,71  | 0,67   |
| 4     | "                 | 1,60  | 1,14   |
| 5     | "                 | 3,59  | 1,80   |
| 6     | "                 | 3,31  | 1,99   |
| 7     | "                 | 3,49  | 1,85   |
| 8     | "                 | 1,47  | 2,98   |
| 9     | "                 | 1,58  | 1,90   |
| 10    | "                 | 3,59  | 4,29   |
| 11    | " + Spreu         | 4,46  | 4,45   |
| 12    | " "               | 5,92  | 5,06   |
| 13    | " "               | 4,80  | 6,19   |
| 14    | " "               | 4,90  | 2,87   |
| 15    | " "               | 5,91  | 4,41   |
| 9     | Ähren             | 0,57  | 0,54   |
| 10    | "                 | 0,71  | 0,79   |
| 11    | Körner            | 0,49  | 0,40   |
| 12    | "                 | 1,09  | 0,88   |
| 13    | "                 | 1,43  | 1,24   |
| 14    | "                 | 2,01  | 1,51   |
| 15    | "                 | 2,08  | 1,60   |

Tabelle 24: Sulfatschwefelgehalte (mg  $\text{SO}_4\text{-S/g Tr.S.}$ ) bei Sommerweizen im Verlauf der Vegetationsperiode.

| Ernte | Pflanzenteil      | mit S | ohne S |
|-------|-------------------|-------|--------|
| 1     | vegetative Organe | 2,306 | 1,805  |
| 2     | "                 | 2,306 | 1,936  |
| 3     | "                 | 2,709 | 2,145  |
| 4     | "                 | 2,115 | 1,223  |
| 5     | "                 | 1,455 | 0,698  |
| 6     | "                 | 0,758 | 0,175  |
| 7     | "                 | 0,466 | 0,028  |
| 8     | "                 | 0,490 | 0,029  |
| 9     | "                 | 0,337 | 0,029  |
| 10    | "                 | 0,174 | 0,034  |
| 11    | " + Spreu         | 0,111 | 0,035  |
| 12    | " "               | 0,108 | 0,039  |
| 13    | " "               | 0,105 | 0,035  |
| 14    | " "               | 0,097 | 0,039  |
| 15    | " "               | 0,058 | 0,037  |
| 9     | Ähren             | 0,244 | 0,118  |
| 10    | "                 | 0,327 | 0,207  |
| 11    | Körner            | 0,307 | 0,162  |
| 12    | "                 | 0,064 | 0,047  |
| 13    | "                 | 0,037 | 0,043  |
| 14    | "                 | 0,034 | 0,043  |
| 15    | "                 | 0,030 | 0,034  |

Tabelle 25: Sulfatschwefelmengen (mg  $\text{SO}_4\text{-S/Pfl.}$ ) bei Sommerweizen im Verlauf der Vegetationsperiode.

| Ernte | Pflanzenteil      | mit S | ohne S |
|-------|-------------------|-------|--------|
| 1     | vegetative Organe | 0,037 | 0,029  |
| 2     | "                 | 0,108 | 0,081  |
| 3     | "                 | 0,257 | 0,191  |
| 4     | "                 | 0,656 | 0,318  |
| 5     | "                 | 1,106 | 0,517  |
| 6     | "                 | 1,054 | 0,217  |
| 7     | "                 | 0,946 | 0,051  |
| 8     | "                 | 1,352 | 0,076  |
| 9     | "                 | 1,068 | 0,086  |
| 10    | "                 | 0,642 | 0,120  |
| 11    | " + Spreu         | 0,498 | 0,147  |
| 12    | " "               | 0,496 | 0,170  |
| 13    | " "               | 0,415 | 0,135  |
| 14    | " "               | 0,350 | 0,130  |
| 15    | " "               | 0,215 | 0,130  |
| 9     | Ähren             | 0,103 | 0,041  |
| 10    | "                 | 0,210 | 0,116  |
| 11    | Körner            | 0,111 | 0,055  |
| 12    | "                 | 0,055 | 0,038  |
| 13    | "                 | 0,053 | 0,063  |
| 14    | "                 | 0,071 | 0,080  |
| 15    | "                 | 0,066 | 0,071  |

Tabelle 26: Gehalte an organisch gebundenem Schwefel (mg/  
g Tr.S.) bei Sommerweizen im Verlauf der  
Vegetationsperiode.

| Ernte | Pflanzenteil      | mit S | ohne S |
|-------|-------------------|-------|--------|
| 1     | vegetative Organe | 4,58  | 3,80   |
| 2     | "                 | 4,68  | 3,89   |
| 3     | "                 | 4,77  | 5,37   |
| 4     | "                 | 3,03  | 3,14   |
| 5     | "                 | 3,27  | 1,73   |
| 6     | "                 | 1,62  | 1,43   |
| 7     | "                 | 1,25  | 0,99   |
| 8     | "                 | 0,04  | 1,11   |
| 9     | "                 | 0,16  | 0,61   |
| 10    | "                 | 0,80  | 1,18   |
| 11    | " + Spreu         | 0,88  | 1,02   |
| 12    | " "               | 1,18  | 1,12   |
| 13    | " "               | 1,11  | 1,47   |
| 14    | " "               | 1,26  | 0,82   |
| 15    | " "               | 1,54  | 1,22   |
| 9     | Ähren             | 1,12  | 1,45   |
| 10    | "                 | 0,78  | 1,21   |
| 11    | Körner            | 1,03  | 1,00   |
| 12    | "                 | 1,22  | 1,05   |
| 13    | "                 | 0,97  | 0,80   |
| 14    | "                 | 0,93  | 0,76   |
| 15    | "                 | 0,91  | 0,73   |

Tabelle 27: Mengen von organisch gebundenem Schwefel (mg/Pfl.) bei Sommerweizen im Verlauf der Vegetationsperiode.

| Ernte | Pflanzenteil      | mit S | ohne S |
|-------|-------------------|-------|--------|
| 1     | vegetative Organe | 0,07  | 0,06   |
| 2     | "                 | 0,22  | 0,16   |
| 3     | "                 | 0,45  | 0,48   |
| 4     | "                 | 0,94  | 0,82   |
| 5     | "                 | 2,49  | 1,28   |
| 6     | "                 | 2,26  | 1,77   |
| 7     | "                 | 2,55  | 1,80   |
| 8     | "                 | 0,12  | 2,90   |
| 9     | "                 | 0,51  | 1,81   |
| 10    | "                 | 2,95  | 4,17   |
| 11    | " + Spreu         | 3,96  | 4,30   |
| 12    | " "               | 5,42  | 4,89   |
| 13    | " "               | 4,38  | 6,05   |
| 14    | " "               | 4,55  | 2,74   |
| 15    | " "               | 5,70  | 4,28   |
| 9     | Ähren             | 0,47  | 0,50   |
| 10    | "                 | 0,50  | 0,68   |
| 11    | Körner            | 0,38  | 0,34   |
| 12    | "                 | 1,03  | 0,84   |
| 13    | "                 | 1,38  | 1,18   |
| 14    | "                 | 1,94  | 1,43   |
| 15    | "                 | 2,02  | 1,53   |

Tabelle 28: Verhältnis von organisch gebundenem S/Reinprotein (mg org.geb. S/g Reinprotein) bei Sommerweizen im Verlauf der Vegetationsperiode.

| Ernte | Pflanzenteil      | mit S  | ohne S |
|-------|-------------------|--------|--------|
| 1     | vegetative Organe | 17,25  | 12,90  |
| 2     | "                 | 19,45  | 14,15  |
| 3     | "                 | 19,56  | 21,29  |
| 4     | "                 | 14,71  | 14,96  |
| 5     | "                 | 22,45  | 10,07  |
| 6     | "                 | 16,21  | 12,15  |
| 7     | "                 | 17,11  | 12,02  |
| 8     | "                 | 0,66   | 15,89  |
| 9     | "                 | 2,77   | 11,42  |
| 10    | "                 | 19,59  | 25,01  |
| 11    | " + Spreu         | 25,48  | 23,97  |
| 12    | " "               | 38,63  | 34,83  |
| 13    | " "               | 43,84  | 54,29  |
| 14    | " "               | 80,36  | 46,83  |
| 15    | " "               | 111,43 | 60,52  |
| 9     | Ähren             | 11,82  | 16,61  |
| 10    | "                 | 10,34  | 16,59  |
| 11    | Körner            | 12,32  | 11,50  |
| 12    | "                 | 14,04  | 12,28  |
| 13    | "                 | 11,56  | 9,91   |
| 14    | "                 | 11,45  | 8,84   |
| 15    | "                 | 10,92  | 8,18   |

Tabelle 29: Anteil (in %) von produzierendem System, von Produkt und von System in den Reserveorganen an der Gesamttrockenmasse von Sommerweizen im Verlauf der Vegetationsperiode.

| Ernte | mit S                        |         |                                  | ohne S                       |         |                                  |
|-------|------------------------------|---------|----------------------------------|------------------------------|---------|----------------------------------|
|       | System<br>in veg.<br>Organen | Produkt | System<br>in Reser-<br>veorganen | System<br>in veg.<br>Organen | Produkt | System<br>in Reser-<br>veorganen |
| 1     | 100,00                       | 00,00   |                                  | 100,00                       | 00,00   |                                  |
| 2     | 91,45                        | 8,55    |                                  | 93,57                        | 6,43    |                                  |
| 3     | 92,60                        | 7,40    |                                  | 85,73                        | 14,27   |                                  |
| 4     | 78,23                        | 21,77   |                                  | 71,40                        | 28,60   |                                  |
| 5     | 55,41                        | 44,59   |                                  | 58,31                        | 41,69   |                                  |
| 6     | 38,06                        | 61,94   |                                  | 39,90                        | 60,10   |                                  |
| 7     | 27,86                        | 72,14   |                                  | 27,98                        | 72,02   |                                  |
| 8     | 24,64                        | 75,36   |                                  | 23,74                        | 76,26   |                                  |
| 9     | 23,69                        | 76,31   |                                  | 19,41                        | 80,59   |                                  |
| 10    | 17,45                        | 82,55   |                                  | 17,20                        | 82,80   |                                  |
| 11    | 12,17                        | 85,45   | 2,38                             | 13,39                        | 84,39   | 2,22                             |
| 12    | 9,80                         | 85,05   | 5,15                             | 9,23                         | 86,28   | 4,49                             |
| 13    | 7,07                         | 84,50   | 8,43                             | 6,80                         | 85,95   | 7,25                             |
| 14    | 3,81                         | 84,86   | 11,33                            | 3,82                         | 85,65   | 10,53                            |
| 15    | 3,29                         | 84,83   | 11,88                            | 4,30                         | 84,34   | 11,36                            |

Tabelle 30: Systemmengen (mg/Pfl.), Systemzuwachsrate (Pfl./Tag) sowie Systemsyntheseleistung des Systems für System (in %) bei Sommerweizen.

| Ernte | mit S                              |                                  |                                                       | ohne S                         |                                  |                                                       |
|-------|------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------|
|       | System-<br>mengen<br>(mg/Pfl.)     | System-<br>zuwachs<br>(Pfl./Tag) | System-<br>synthese-<br>leistung<br>d. Systems<br>(%) | System-<br>mengen<br>(mg/Pfl.) | System-<br>zuwachs<br>(Pfl./Tag) | System-<br>synthese-<br>leistung<br>d. Systems<br>(%) |
|       | v e g e t a t i v e    O r g a n e |                                  |                                                       |                                |                                  |                                                       |
| 1     | 16,2                               |                                  |                                                       | 16,2                           |                                  |                                                       |
| 2     | 43,0                               | 4,47                             | 15,12                                                 | 39,3                           | 3,85                             | 13,88                                                 |
| 3     | 88,0                               | 6,43                             | 9,82                                                  | 76,3                           | 5,29                             | 9,15                                                  |
| 4     | 242,5                              | 22,08                            | 13,36                                                 | 185,6                          | 15,62                            | 11,93                                                 |
| 5     | 421,2                              | 25,52                            | 7,69                                                  | 431,5                          | 35,12                            | 11,38                                                 |
| 6     | 529,0                              | 15,41                            | 3,24                                                  | 494,7                          | 9,03                             | 1,95                                                  |
| 7     | 565,5                              | 5,22                             | 0,95                                                  | 509,2                          | 2,07                             | 0,41                                                  |
| 8     | 679,9                              | 16,34                            | 2,62                                                  | 621,9                          | 16,10                            | 2,85                                                  |
| 9     | 850,5                              | 24,36                            | 3,18                                                  | 641,0                          | 2,73                             | 0,43                                                  |
| 10    | 756,2                              | -13,47                           | -1,68                                                 | 704,9                          | 9,13                             | 1,36                                                  |
| 11    | 590,7                              | -23,65                           | -3,51                                                 | 609,6                          | -13,61                           | -2,07                                                 |
| 12    | 533,2                              | -8,21                            | -1,46                                                 | 477,0                          | -18,95                           | -3,49                                                 |
| 13    | 380,4                              | -21,83                           | -4,78                                                 | 378,5                          | -14,07                           | -3,29                                                 |
| 14    | 216,7                              | -14,89                           | -4,99                                                 | 199,1                          | -16,31                           | -5,65                                                 |
| 15    | 194,3                              | -2,24                            | -1,09                                                 | 240,5                          | 4,15                             | 1,89                                                  |
|       | G e s a m t e    P f l a n z e     |                                  |                                                       |                                |                                  |                                                       |
| 11    | 706,4                              |                                  |                                                       | 710,8                          |                                  |                                                       |
| 12    | 813,4                              | 15,28                            | 2,72                                                  | 708,9                          | -0,28                            | -0,05                                                 |
| 13    | 834,0                              | 2,94                             | 0,64                                                  | 782,4                          | 10,50                            | 2,45                                                  |
| 14    | 861,2                              | 2,48                             | 0,83                                                  | 747,8                          | -3,15                            | -1,09                                                 |
| 15    | 896,1                              | 3,49                             | 1,70                                                  | 876,8                          | 12,91                            | 5,87                                                  |

Tabelle 31: Produktmengen (mg/Pfl.), Produktzuwachsrate  
(Pfl./Tag) sowie Systemsyntheseleistung des  
Systems für Produkt (in %) bei Sommerweizen.

| Ernte | mit S                           |                                   |                                                        | ohne S                          |                                   |                                                        |
|-------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------|
|       | Produkt-<br>mengen<br>(mg/Pfl.) | Produkt-<br>zuwachs<br>(Pfl./Tag) | System-<br>synthese-<br>leistung<br>d. Produkts<br>(%) | Produkt-<br>mengen<br>(mg/Pfl.) | Produkt-<br>zuwachs<br>(Pfl./Tag) | System-<br>synthese-<br>leistung<br>d. Produkts<br>(%) |
| 1     | 00,0                            |                                   |                                                        | 00,0                            |                                   |                                                        |
| 2     | 4,0                             | 00,67                             | 2,27                                                   | 2,7                             | 0,45                              | 1,62                                                   |
| 3     | 7,0                             | 00,43                             | 0,66                                                   | 12,7                            | 1,43                              | 2,47                                                   |
| 4     | 67,5                            | 8,64                              | 5,23                                                   | 74,4                            | 8,81                              | 6,73                                                   |
| 5     | 338,9                           | 38,77                             | 11,68                                                  | 308,5                           | 33,45                             | 10,84                                                  |
| 6     | 861,0                           | 74,59                             | 15,70                                                  | 745,3                           | 62,39                             | 13,47                                                  |
| 7     | 1464,5                          | 86,21                             | 15,75                                                  | 1310,8                          | 80,79                             | 16,09                                                  |
| 8     | 2080,1                          | 87,94                             | 14,12                                                  | 1998,1                          | 98,19                             | 17,36                                                  |
| 9     | 2739,5                          | 94,21                             | 12,31                                                  | 2662,0                          | 94,85                             | 15,02                                                  |
| 10    | 3576,8                          | 119,61                            | 14,89                                                  | 3393,1                          | 104,44                            | 15,52                                                  |
| 11    | 4146,6                          | 81,40                             | 12,09                                                  | 3841,2                          | 64,01                             | 9,74                                                   |
| 12    | 4627,6                          | 68,72                             | 12,23                                                  | 4459,1                          | 88,28                             | 16,25                                                  |
| 13    | 4546,1                          | -11,66                            | -2,55                                                  | 4787,6                          | 46,93                             | 10,97                                                  |
| 14    | 4828,8                          | 25,70                             | 8,61                                                   | 4462,2                          | -29,58                            | -10,24                                                 |
| 15    | 5013,9                          | 18,51                             | 9,01                                                   | 4723,2                          | 26,10                             | 11,87                                                  |

Tabelle 32: System- und Produktmengen (mg/Pfl.) in den Körnern des Sommerweizen nach ihrer Abtrennung.

| Ernte | mit S  |         | ohne S |         |
|-------|--------|---------|--------|---------|
|       | System | Produkt | System | Produkt |
| 11    | 115,7  | 247,3   | 101,2  | 240,8   |
| 12    | 280,1  | 570,9   | 232,0  | 566,0   |
| 13    | 453,5  | 976,5   | 403,9  | 1066,1  |
| 14    | 644,6  | 1435,4  | 548,7  | 1321,3  |
| 15    | 701,8  | 1508,2  | 636,3  | 1463,7  |

Tabelle 33: Frischgewichte (g/Pfl.) bei Ölrettich im Verlauf der Vegetationsperiode.

| Ernte | Pflanzenteil      | mit S | ohne S |
|-------|-------------------|-------|--------|
| 1     | vegetative Organe | 0,25  | 0,27   |
| 2     | "                 | 0,71  | 0,72   |
| 3     | "                 | 2,18  | 1,96   |
| 4     | "                 | 8,40  | 6,85   |
| 5     | "                 | 11,05 | 10,07  |
| 6     | "                 | 17,94 | 15,70  |
| 7     | "                 | 23,14 | 18,48  |
| 8     | "                 | 21,60 | 17,29  |
| 9     | "                 | 20,90 | 16,04  |
| 10    | "                 | 16,10 | 12,01  |
| 11    | "                 | 13,83 | 10,71  |
| 12    | "                 | 10,06 | 8,25   |
| 13    | "                 | 9,85  | 9,98   |
| 14    | "                 | 6,96  | 6,43   |
| 15    | "                 | 2,46  | 1,94   |
| 9     | Schoten           | 1,98  | 2,18   |
| 10    | "                 | 16,58 | 7,70   |
| 11    | "                 | 17,00 | 12,83  |
| 12    | "                 | 11,21 | 6,72   |
| 13    | "                 | 9,02  | 7,19   |
| 14    | "                 | 6,14  | 3,20   |
| 15    | "                 | 3,67  | 3,19   |

Tabelle 34: Trockengewichte (g/Pfl.) bei Ölrettich im Verlauf der Vegetationsperiode.

| Ernte | Pflanzenteil      | mit S | ohne S |
|-------|-------------------|-------|--------|
| 1     | vegetative Organe | 0,02  | 0,02   |
| 2     | "                 | 0,06  | 0,06   |
| 3     | "                 | 0,18  | 0,15   |
| 4     | "                 | 0,63  | 0,50   |
| 5     | "                 | 1,03  | 1,01   |
| 6     | "                 | 1,78  | 1,53   |
| 7     | "                 | 2,35  | 1,95   |
| 8     | "                 | 3,25  | 2,66   |
| 9     | "                 | 3,82  | 3,29   |
| 10    | "                 | 3,50  | 3,30   |
| 11    | " + Spreu         | 5,49  | 4,33   |
| 12    | " "               | 5,04  | 3,86   |
| 13    | " "               | 4,59  | 4,36   |
| 14    | " "               | 4,89  | 3,95   |
| 15    | " "               | 4,70  | 4,15   |
| 9     | Schoten           | 0,23  | 0,22   |
| 10    | "                 | 1,45  | 0,73   |
| 11    | Körner            | 0,09  | 0,06   |
| 12    | "                 | 0,51  | 0,10   |
| 13    | "                 | 0,73  | 0,26   |
| 14    | "                 | 1,08  | 0,39   |
| 15    | "                 | 0,98  | 0,64   |

Tabelle 35: Rohproteingehalte (% d.Tr.S.) bei Ülrettich  
im Verlauf der Vegetationsperiode.

| Ernte | Pflanzenteil      | mit S | ohne S |
|-------|-------------------|-------|--------|
| 1     | vegetative Organe | 32,77 | 32,60  |
| 2     | "                 | 31,77 | 32,34  |
| 3     | "                 | 32,34 | 31,60  |
| 4     | "                 | 28,16 | 28,75  |
| 5     | "                 | 16,14 | 16,64  |
| 6     | "                 | 14,28 | 15,35  |
| 7     | "                 | 10,87 | 11,98  |
| 8     | "                 | 10,11 | 10,35  |
| 9     | "                 | 7,41  | 7,47   |
| 10    | "                 | 5,16  | 6,31   |
| 11    | " + Spreu         | 5,05  | 6,22   |
| 12    | " "               | 4,04  | 5,48   |
| 13    | " "               | 3,60  | 4,44   |
| 14    | " "               | 2,84  | 3,45   |
| 15    | " "               | 3,15  | 2,94   |
| 9     | Schoten           | 16,62 | 19,18  |
| 10    | "                 | 7,84  | 12,81  |
| 11    | Körner            | 20,38 | 19,05  |
| 12    | "                 | 15,94 | 22,46  |
| 13    | "                 | 15,86 | 20,79  |
| 14    | "                 | 15,58 | 22,47  |
| 15    | "                 | 16,39 | 20,66  |

Tabelle 36: Rohproteinmengen (mg/Pfl.) bei Ölrettich  
im Verlauf der Vegetationsperiode.

| Ernte | Pflanzenteil      | mit S | ohne S |
|-------|-------------------|-------|--------|
| 1     | vegetative Organe | 7,2   | 7,8    |
| 2     | "                 | 19,4  | 20,1   |
| 3     | "                 | 58,2  | 47,4   |
| 4     | "                 | 177,4 | 143,7  |
| 5     | "                 | 166,2 | 168,1  |
| 6     | "                 | 254,2 | 234,8  |
| 7     | "                 | 255,4 | 233,6  |
| 8     | "                 | 328,4 | 275,3  |
| 9     | "                 | 283,0 | 245,7  |
| 10    | "                 | 180,7 | 208,1  |
| 11    | " + Spreu         | 277,0 | 269,2  |
| 12    | " "               | 203,5 | 211,6  |
| 13    | " "               | 165,2 | 193,5  |
| 14    | " "               | 138,8 | 136,2  |
| 15    | " "               | 147,9 | 122,2  |
| 9     | Schoten           | 37,6  | 42,4   |
| 10    | "                 | 113,6 | 93,4   |
| 11    | Körner            | 18,5  | 11,6   |
| 12    | "                 | 81,0  | 22,5   |
| 13    | "                 | 115,5 | 54,3   |
| 14    | "                 | 168,5 | 87,2   |
| 15    | "                 | 160,5 | 131,8  |

Tabelle 37: Reinproteingehalte (% d.Tr.S.) bei Ülrettich  
im Verlauf der Vegetationsperiode.

| Ernte | Pflanzenteil      | mit S | ohne S |
|-------|-------------------|-------|--------|
| 1     | vegetative Organe | 24,44 | 23,80  |
| 2     | "                 | 22,65 | 22,90  |
| 3     | "                 | 22,49 | 23,31  |
| 4     | "                 | 20,48 | 20,22  |
| 5     | "                 | 13,79 | 13,61  |
| 6     | "                 | 12,34 | 11,69  |
| 7     | "                 | 9,49  | 10,32  |
| 8     | "                 | 7,86  | 7,88   |
| 9     | "                 | 6,43  | 5,72   |
| 10    | "                 | 4,59  | 4,98   |
| 11    | " + Spreu         | 4,09  | 4,57   |
| 12    | " "               | 3,53  | 4,15   |
| 13    | " "               | 2,99  | 3,61   |
| 14    | " "               | 2,22  | 3,03   |
| 15    | " "               | 2,57  | 2,35   |
| 9     | Schoten           | 13,78 | 11,33  |
| 10    | "                 | 6,50  | 7,75   |
| 11    | Körner            | 13,84 | 13,26  |
| 12    | "                 | 12,89 | 13,84  |
| 13    | "                 | 13,21 | 15,57  |
| 14    | "                 | 14,25 | 16,30  |
| 15    | "                 | 14,10 | 17,23  |

Tabelle 37a: Die löslichen N-Verbindungen bei Ölrettich  
(% i.d.Tr.S.)

| Ernte | Schoten und Körner |      |      |      |
|-------|--------------------|------|------|------|
|       | +S                 | -S   | +S   | -S   |
| 1     | 8,33               | 8,80 |      |      |
| 2     | 9,12               | 9,44 |      |      |
| 3     | 9,85               | 8,29 |      |      |
| 4     | 7,68               | 8,53 |      |      |
| 5     | 2,35               | 3,03 |      |      |
| 6     | 1,94               | 3,66 |      |      |
| 7     | 1,38               | 1,66 |      |      |
| 8     | 2,25               | 2,47 |      |      |
| 9     | 0,98               | 1,75 | 2,84 | 7,85 |
| 10    | 0,57               | 1,33 | 1,34 | 5,06 |
| 11    | 0,96               | 1,65 | 6,54 | 5,79 |
| 12    | 0,51               | 1,33 | 3,05 | 8,62 |
| 13    | 0,61               | 0,83 | 2,65 | 5,22 |
| 14    | 0,62               | 0,36 | 1,33 | 6,17 |
| 15    | 0,58               | 0,59 | 2,29 | 3,43 |

Tabelle 38: Reinproteinmengen (mg/Pfl.) bei Ölrettich  
im Verlauf der Vegetationsperiode.

| Ernte | Pflanzenteil      | mit S | ohne S |
|-------|-------------------|-------|--------|
| 1     | vegetative Organe | 5,4   | 5,7    |
| 2     | "                 | 13,8  | 14,2   |
| 3     | "                 | 40,5  | 35,0   |
| 4     | "                 | 129,0 | 101,1  |
| 5     | "                 | 142,0 | 137,5  |
| 6     | "                 | 219,6 | 178,9  |
| 7     | "                 | 223,0 | 201,2  |
| 8     | "                 | 255,5 | 209,9  |
| 9     | "                 | 245,6 | 188,3  |
| 10    | "                 | 160,7 | 164,3  |
| 11    | " + Spreu         | 224,7 | 198,0  |
| 12    | " "               | 178,0 | 160,1  |
| 13    | " "               | 137,3 | 157,5  |
| 14    | " "               | 108,5 | 119,6  |
| 15    | " "               | 121,1 | 97,6   |
| 9     | Schoten           | 31,1  | 25,0   |
| 10    | "                 | 94,2  | 56,5   |
| 11    | Körner            | 12,6  | 8,1    |
| 12    | "                 | 65,5  | 13,8   |
| 13    | "                 | 96,1  | 40,6   |
| 14    | "                 | 153,9 | 63,3   |
| 15    | "                 | 138,1 | 109,9  |

Tabelle 39: Gesamtschwefelgehalte (mg/g Tr.S.) bei Ölr  
rettlich im Verlauf der Vegetationsperiode.

| Ernte | Pflanzenteil      | mit S | ohne S |
|-------|-------------------|-------|--------|
| 1     | vegetative Organe | 10,34 | 7,80   |
| 2     | "                 | 7,73  | 5,17   |
| 3     | "                 | 6,90  | 5,21   |
| 4     | "                 | 6,27  | 3,50   |
| 5     | "                 | 5,46  | 2,11   |
| 6     | "                 | 5,31  | 1,24   |
| 7     | "                 | 4,29  | 0,63   |
| 8     | "                 | 4,77  | 0,56   |
| 9     | "                 | 3,32  | 0,59   |
| 10    | "                 | 2,14  | 0,68   |
| 11    | " + Spreu         | 2,32  | 0,56   |
| 12    | "                 | 2,12  | 0,41   |
| 13    | "                 | 2,20  | 0,38   |
| 14    | "                 | 1,79  | 0,78   |
| 15    | "                 | 1,84  | 0,94   |
| 9     | Schoten           | 8,69  | 1,20   |
| 10    | "                 | 4,69  | 0,76   |
| 11    | Körner            | 9,84  | 2,41   |
| 12    | "                 | 9,62  | 1,63   |
| 13    | "                 | 9,96  | 1,52   |
| 14    | "                 | 9,25  | 1,61   |
| 15    | "                 | 8,47  | 1,79   |

Tabelle 40: Gesamtschwefelmengen (mg/Pfl.) bei Ülrettich  
im Verlauf der Vegetationsperiode.

| Ernte | Pflanzenteil      | mit S | ohne S |
|-------|-------------------|-------|--------|
| 1     | vegetative Organe | 0,23  | 0,19   |
| 2     | "                 | 0,47  | 0,32   |
| 3     | "                 | 1,24  | 0,78   |
| 4     | "                 | 3,95  | 1,75   |
| 5     | "                 | 5,63  | 2,13   |
| 6     | "                 | 9,45  | 1,90   |
| 7     | "                 | 10,09 | 1,22   |
| 8     | "                 | 15,50 | 1,48   |
| 9     | "                 | 12,69 | 1,94   |
| 10    | "                 | 7,48  | 2,23   |
| 11    | " + Spreu         | 13,26 | 2,43   |
| 12    | " "               | 10,70 | 1,59   |
| 13    | " "               | 10,11 | 1,67   |
| 14    | " "               | 8,75  | 3,08   |
| 15    | " "               | 8,65  | 3,89   |
| 9     | Schoten           | 1,96  | 0,27   |
| 10    | "                 | 6,80  | 0,56   |
| 11    | Körner            | 0,90  | 0,15   |
| 12    | "                 | 4,89  | 0,16   |
| 13    | "                 | 7,25  | 0,40   |
| 14    | "                 | 9,99  | 0,63   |
| 15    | "                 | 8,29  | 1,14   |

Tabelle 41: Sulfatschwefelgehalte (mg  $\text{SO}_4\text{-S/g Tr.S.}$ ) bei  
Ülrettich im Verlauf der Vegetationsperiode.

| Ernte | Pflanzenteil      | mit S | ohne S |
|-------|-------------------|-------|--------|
| 1     | vegetative Organe | 5,295 | 3,008  |
| 2     | "                 | 3,983 | 1,959  |
| 3     | "                 | 3,194 | 0,981  |
| 4     | "                 | 3,389 | 0,844  |
| 5     | "                 | 2,387 | 0,168  |
| 6     | "                 | 1,767 | 0,058  |
| 7     | "                 | 1,852 | 0,056  |
| 8     | "                 | 2,189 | 0,051  |
| 9     | "                 | 1,603 | 0,045  |
| 10    | "                 | 1,140 | 0,043  |
| 11    | " + Spreu         | 0,969 | 0,045  |
| 12    | " "               | 1,067 | 0,040  |
| 13    | " "               | 0,841 | 0,040  |
| 14    | " "               | 0,515 | 0,036  |
| 15    | " "               | 0,615 | 0,021  |
| 9     | Schoten           | 2,798 | 0,077  |
| 10    | "                 | 1,388 | 0,043  |
| 11    | Körner            | 2,567 | 0,152  |
| 12    | "                 | 2,101 | 0,135  |
| 13    | "                 | 1,924 | 0,101  |
| 14    | "                 | 1,569 | 0,078  |
| 15    | "                 | 1,355 | 0,058  |

Tabelle 42: Sulfatschwefelmengen (mg  $\text{SO}_4\text{-S/Pfl.}$ ) bei Ölrettich im Verlauf der Vegetationsperiode.

| Ernte | Pflanzenteil      | mit S | ohne S |
|-------|-------------------|-------|--------|
| 1     | vegetative Organe | 0,117 | 0,072  |
| 2     | "                 | 0,243 | 0,122  |
| 3     | "                 | 0,575 | 0,147  |
| 4     | "                 | 1,946 | 0,422  |
| 5     | "                 | 4,096 | 0,170  |
| 6     | "                 | 3,145 | 0,089  |
| 7     | "                 | 4,352 | 0,109  |
| 8     | "                 | 7,114 | 0,136  |
| 9     | "                 | 6,124 | 0,148  |
| 10    | "                 | 4,004 | 0,142  |
| 11    | " + Spreu         | 5,320 | 0,195  |
| 12    | " "               | 5,378 | 0,154  |
| 13    | " "               | 3,860 | 0,174  |
| 14    | " "               | 2,518 | 0,150  |
| 15    | " "               | 2,891 | 0,087  |
| 9     | Schoten           | 0,632 | 0,017  |
| 10    | "                 | 1,152 | 0,031  |
| 11    | Körner            | 0,234 | 0,009  |
| 12    | "                 | 1,067 | 0,014  |
| 13    | "                 | 1,401 | 0,026  |
| 14    | "                 | 1,695 | 0,030  |
| 15    | "                 | 1,327 | 0,037  |

Tabelle 43: Gehalt an organisch gebundenem Schwefel (mg/g Tr.S.) bei Ulrettich im Verlauf der Vegetationsperiode.

| Ernte | Pflanzenteil      | mit S | ohne S |
|-------|-------------------|-------|--------|
| 1     | vegetative Organe | 5,05  | 4,79   |
| 2     | "                 | 3,74  | 3,21   |
| 3     | "                 | 3,71  | 4,23   |
| 4     | "                 | 3,18  | 2,66   |
| 5     | "                 | 3,38  | 1,95   |
| 6     | "                 | 3,54  | 1,18   |
| 7     | "                 | 2,44  | 0,57   |
| 8     | "                 | 2,58  | 0,51   |
| 9     | "                 | 1,72  | 0,56   |
| 10    | "                 | 1,00  | 0,63   |
| 11    | " + Spreu         | 1,35  | 0,52   |
| 12    | " "               | 1,06  | 0,37   |
| 13    | " "               | 1,36  | 0,34   |
| 14    | " "               | 1,28  | 0,74   |
| 15    | " "               | 1,23  | 0,92   |
| 9     | Schoten           | 5,89  | 1,13   |
| 10    | "                 | 3,30  | 0,72   |
| 11    | Körner            | 7,27  | 2,26   |
| 12    | "                 | 7,52  | 1,49   |
| 13    | "                 | 6,63  | 1,42   |
| 14    | "                 | 7,68  | 1,54   |
| 15    | "                 | 7,11  | 1,73   |

Tabelle 44: Mengen von organisch gebundenem Schwefel (mg/Pfl.) bei Ülrettich im Verlauf der Vegetationsperiode.

| Ernte | Pflanzenteil      | mit S | ohne S |
|-------|-------------------|-------|--------|
| 1     | vegetative Organe | 0,11  | 0,12   |
| 2     | "                 | 0,23  | 0,20   |
| 3     | "                 | 0,67  | 0,64   |
| 4     | "                 | 2,00  | 1,33   |
| 5     | "                 | 1,53  | 1,96   |
| 6     | "                 | 6,31  | 1,81   |
| 7     | "                 | 5,74  | 1,11   |
| 8     | "                 | 8,38  | 1,34   |
| 9     | "                 | 6,56  | 1,79   |
| 10    | "                 | 3,48  | 2,09   |
| 11    | " + Spreu         | 7,94  | 2,24   |
| 12    | " "               | 5,32  | 1,43   |
| 13    | " "               | 6,25  | 1,50   |
| 14    | " "               | 6,24  | 2,93   |
| 15    | " "               | 5,76  | 3,81   |
| 9     | Schoten           | 1,33  | 0,25   |
| 10    | "                 | 5,64  | 0,53   |
| 11    | Körner            | 0,66  | 0,14   |
| 12    | "                 | 3,82  | 0,15   |
| 13    | "                 | 5,85  | 0,37   |
| 14    | "                 | 8,29  | 0,60   |
| 15    | "                 | 6,96  | 1,10   |

Tabelle 45: Verhältnis von organisch gebundenem S/Reinprotein (mg org.geb. S/g Reinprotein) bei Ürettich im Verlauf der Vegetationsperiode.

| Ernte | Pflanzenteil      | mit S | ohne S |
|-------|-------------------|-------|--------|
| 1     | vegetative Organe | 20,64 | 20,11  |
| 2     | "                 | 16,52 | 14,03  |
| 3     | "                 | 16,50 | 18,16  |
| 4     | "                 | 15,53 | 13,14  |
| 5     | "                 | 24,50 | 14,29  |
| 6     | "                 | 28,73 | 10,11  |
| 7     | "                 | 25,73 | 5,54   |
| 8     | "                 | 32,81 | 6,41   |
| 9     | "                 | 26,73 | 9,70   |
| 10    | "                 | 21,73 | 12,71  |
| 11    | " + Spreu         | 32,92 | 11,31  |
| 12    | " "               | 29,86 | 8,94   |
| 13    | " "               | 45,49 | 9,52   |
| 14    | " "               | 57,46 | 24,51  |
| 15    | " "               | 47,65 | 38,99  |
| 9     | Schoten           | 18,94 | 4,52   |
| 10    | "                 | 35,03 | 12,74  |
| 11    | Körner            | 52,53 | 17,03  |
| 12    | "                 | 58,31 | 10,79  |
| 13    | "                 | 60,81 | 9,11   |
| 14    | "                 | 50,89 | 9,42   |
| 15    | "                 | 50,44 | 10,03  |

Tabelle 46: Anteil (in %) von produzierendem System, von Produkt und von System in den Reserveorganen an der Gesamttrockenmasse von Ölrettich im Verlauf der Vegetationsperiode.

| Ernte | mit S                        |         |                                  | ohne S                       |         |                                  |
|-------|------------------------------|---------|----------------------------------|------------------------------|---------|----------------------------------|
|       | System<br>in veg.<br>Organen | Produkt | System<br>in Reser-<br>veorganen | System<br>in veg.<br>Organen | Produkt | System<br>in Reser-<br>veorganen |
| 1     | 100,00                       | 00,00   |                                  | 99,92                        | 00,08   |                                  |
| 2     | 92,89                        | 7,11    |                                  | 96,19                        | 3,81    |                                  |
| 3     | 92,21                        | 7,79    |                                  | 97,89                        | 2,11    |                                  |
| 4     | 83,96                        | 16,04   |                                  | 84,92                        | 15,08   |                                  |
| 5     | 56,52                        | 43,48   |                                  | 57,17                        | 42,83   |                                  |
| 6     | 50,57                        | 49,43   |                                  | 49,11                        | 50,89   |                                  |
| 7     | 38,91                        | 61,09   |                                  | 43,33                        | 56,67   |                                  |
| 8     | 32,23                        | 67,77   |                                  | 33,14                        | 66,86   |                                  |
| 9     | 28,04                        | 71,96   |                                  | 25,52                        | 74,48   |                                  |
| 10    | 21,12                        | 78,88   |                                  | 23,01                        | 76,99   |                                  |
| 11    | 16,50                        | 82,57   | 0,93                             | 18,94                        | 80,29   | 0,77                             |
| 12    | 13,15                        | 82,01   | 4,84                             | 16,98                        | 81,55   | 1,47                             |
| 13    | 10,59                        | 82,00   | 7,41                             | 14,31                        | 82,00   | 3,69                             |
| 14    | 7,45                         | 81,98   | 10,57                            | 11,58                        | 82,30   | 6,12                             |
| 15    | 8,75                         | 81,28   | 9,97                             | 8,56                         | 81,80   | 9,64                             |

Tabelle 47: Systemmengen (mg/Pfl.), Systemzuwachsrate (Pfl./Tag) sowie Systemsyntheseleistung des Systems für System (in %) bei Ölrettich.

| Ernte | mit S                          |                                  |                                                       | ohne S                         |                                  |                                                       |
|-------|--------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------|
|       | System-<br>mengen<br>(mg/Pfl.) | System-<br>zuwachs<br>(Pfl./Tag) | System-<br>synthese-<br>leistung<br>d. Systems<br>(%) | System-<br>mengen<br>(mg/Pfl.) | System-<br>zuwachs<br>(Pfl./Tag) | System-<br>synthese-<br>leistung<br>d. Systems<br>(%) |
|       | v e g e t a t i v e            |                                  |                                                       | O r g a n e                    |                                  |                                                       |
| 1     | 22,1                           |                                  |                                                       | 24,0                           |                                  |                                                       |
| 2     | 56,7                           | 5,77                             | 14,66                                                 | 59,6                           | 5,94                             | 14,21                                                 |
| 3     | 166,0                          | 15,62                            | 14,03                                                 | 146,8                          | 12,46                            | 12,07                                                 |
| 4     | 528,9                          | 51,85                            | 14,92                                                 | 424,6                          | 39,68                            | 13,89                                                 |
| 5     | 582,2                          | 7,60                             | 1,37                                                  | 577,4                          | 21,83                            | 4,36                                                  |
| 6     | 900,2                          | 45,43                            | 6,13                                                  | 751,3                          | 24,85                            | 3,74                                                  |
| 7     | 914,3                          | 2,01                             | 0,22                                                  | 844,9                          | 13,36                            | 1,67                                                  |
| 8     | 1047,5                         | 19,03                            | 1,94                                                  | 881,4                          | 5,22                             | 0,61                                                  |
| 9     | 1134,4                         | 12,42                            | 1,14                                                  | 896,1                          | 2,09                             | 0,24                                                  |
| 10    | 1045,2                         | -12,75                           | -1,17                                                 | 927,2                          | 4,45                             | 0,49                                                  |
| 11    | 921,1                          | -17,73                           | -1,80                                                 | 831,5                          | - 13,68                          | - 1,56                                                |
| 12    | 729,6                          | -27,35                           | -3,31                                                 | 672,5                          | - 22,72                          | - 3,02                                                |
| 13    | 563,1                          | -23,80                           | -3,68                                                 | 661,4                          | - 1,58                           | - 0,24                                                |
| 14    | 444,9                          | -10,74                           | -2,13                                                 | 502,4                          | - 14,46                          | - 2,49                                                |
| 15    | 496,6                          | 5,17                             | 1,10                                                  | 410,0                          | -9,24                            | -2,03                                                 |
|       | g e s a m t e P f l a n z e    |                                  |                                                       |                                |                                  |                                                       |
| 11    | 972,7                          |                                  |                                                       | 865,5                          |                                  |                                                       |
| 12    | 998,2                          | 3,64                             | 0,44                                                  | 730,6                          | - 19,27                          | - 2,56                                                |
| 13    | 957,2                          | - 5,85                           | - 0,91                                                | 832,1                          | 14,50                            | 2,17                                                  |
| 14    | 1075,9                         | 10,79                            | 2,14                                                  | 768,0                          | - 5,83                           | - 1,00                                                |
| 15    | 1062,7                         | - 1,32                           | - 0,28                                                | 871,7                          | 10,37                            | 2,27                                                  |

Tabelle 48: Produktmengen (mg/Pfl.), Produktzuwachsrate (Pfl./Tag) sowie Systemsyntheseleistung des Systems für Produkt (in %) bei Üirettich.

| Ernte | mit S                           |                                   |                                                       | ohne S                          |                                   |                                                       |
|-------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------|
|       | Produkt-<br>mengen<br>(mg/Pfl.) | Produkt-<br>zuwachs<br>(Pfl./Tag) | System-<br>synthese-<br>leistung<br>d.Produkts<br>(%) | Produkt-<br>mengen<br>(mg/Pfl.) | Produkt-<br>zuwachs<br>(Pfl./Tag) | System-<br>synthese-<br>leistung<br>d.Produkts<br>(%) |
| 1     | 00,0                            |                                   |                                                       | 00,0                            |                                   |                                                       |
| 2     | 4,3                             | 0,72                              | 1,83                                                  | 2,4                             | 0,39                              | 0,93                                                  |
| 3     | 14,0                            | 1,38                              | 1,24                                                  | 3,2                             | 0,12                              | 0,12                                                  |
| 4     | 101,1                           | 12,43                             | 3,58                                                  | 75,4                            | 10,32                             | 3,61                                                  |
| 5     | 447,8                           | 49,54                             | 8,92                                                  | 432,6                           | 51,03                             | 10,19                                                 |
| 6     | 879,8                           | 61,71                             | 8,33                                                  | 778,7                           | 49,44                             | 7,44                                                  |
| 7     | 1435,7                          | 79,42                             | 8,75                                                  | 1105,1                          | 46,64                             | 5,84                                                  |
| 8     | 2202,5                          | 109,54                            | 11,17                                                 | 1778,6                          | 96,21                             | 11,15                                                 |
| 9     | 2911,6                          | 101,29                            | 9,29                                                  | 2614,9                          | 119,48                            | 13,44                                                 |
| 10    | 3904,8                          | 141,89                            | 13,02                                                 | 3101,8                          | 69,55                             | 7,63                                                  |
| 11    | 4608,3                          | 100,50                            | 10,22                                                 | 3525,6                          | 60,54                             | 6,89                                                  |
| 12    | 4549,9                          | -8,35                             | -1,01                                                 | 3229,4                          | -42,31                            | -5,63                                                 |
| 13    | 4360,8                          | -27,01                            | -4,18                                                 | 3788,9                          | 79,93                             | 11,99                                                 |
| 14    | 4894,1                          | 48,49                             | 9,62                                                  | 3570,0                          | -19,90                            | -3,42                                                 |
| 15    | 4616,3                          | -27,78                            | -5,90                                                 | 3916,3                          | 34,63                             | 7,59                                                  |

Tabelle 49: System- und Produktmengen (mg/Pfl.) in den Körnern des Ulrettich nach ihrer Abtrennung.

| Ernte | mit S  |         | ohne S |         |
|-------|--------|---------|--------|---------|
|       | System | Produkt | System | Produkt |
| 11    | 51,6   | 39,4    | 34,0   | 27,0    |
| 12    | 268,5  | 239,5   | 58,1   | 41,9    |
| 13    | 394,2  | 333,8   | 170,7  | 90,3    |
| 14    | 631,0  | 449,0   | 265,7  | 122,3   |
| 15    | 566,1  | 412,9   | 461,7  | 176,3   |

Herrn Professor Dr.phil. Dr.nat.tech. h.c. Hans Linser danke ich für die Überlassung des Themas und das stetige Interesse, mit dem er den Fortgang meiner Arbeiten verfolgt hat.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr. Hans Kühn, der mir jederzeit mit zahlreichen wertvollen Ratschlägen und Anregungen zur Seite gestanden hat.

Weiterhin danke ich allen Angehörigen des Instituts für Pflanzenernährung für das freundliche Entgegenkommen und die stetige Hilfsbereitschaft, vor allem Frau Weller für analytische Einweisung und die Anfertigung der zahlreichen Abbildungen.

Mein Dank gilt weiterhin der Landwirtschaftlichen Fakultät in Kairo, die mir die Möglichkeit zur Promotion an der Justus Liebig-Universität Gießen gegeben hat.

## LEBENS LAUF

6. 11. 1942 Geboren in Kairo als Tochter des Univ.-  
Professors Ali El-Ghamrawy und seiner  
Ehefrau Aida El-Sammaa.
- 1947-1953 Besuch der Elementary School in Kairo.
- 1953-1959 Besuch der High School in Kairo.
- 1959-1963 Studium der Agrarwissenschaften an der  
Kairo-Universität mit dem Examensabschluß  
"Bachelor of Science".
- 1965-1968 Weiterführendes Studium der Agrarwissen-  
schaften (Pflanzenphysiologie) mit dem  
Examensabschluß "Master of Science".
- 1969-1973 Doktorand am Institut für Pflanzenernährung  
der Justus Liebig-Universität in Gießen.





